



ALLI

· BIBLIOTECA ·
· LVCCHESI · PALLI ·



Er. Sala O. S.
26-V-16

III 26ⁿ V 16



ESSAI

***SUR**

LES AFFUTS

ET

LES VOITURES D'ARTILLERIE.

METZ. — IMPRIMERIE DE S. LAMORT.

23 475

ESSAI

SUR LA THÉORIE

DES AFFUTS

ET

DES VOITURES D'ARTILLERIE,

PAR

J. C. MIGOUT,

CAPITAINE D'ARTILLERIE, ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

ET

C. L. BERGERY,

Ancien élève de l'école Polytechnique, ancien capitaine d'artillerie, professeur de sciences appliquées
à l'école royale d'artillerie de Metz, membre correspondant de l'Institut de France, etc.



PARIS,

LEVRULT, LIBRAIRE, RUE DE LA HARPE, 81.

STRASBOURG,

MÊME MAISON, RUE DES JUIFS, 35.

JUILLET 1836.

53452



AVANT-PROPOS.



LES officiers d'artillerie, chargés de construire l'immense matériel de leur arme, de l'employer à la guerre et de le conserver durant la paix, doivent en bien connaître toutes les parties : ils ont besoin de savoir les motifs de l'arrangement des pièces dont se compose chaque machine de guerre, ceux des formes adoptées, et des modes d'union employés ; en d'autres termes, il leur importe de pouvoir apprécier l'action des forces qui agissent sur la machine, la résistance qu'elle est capable d'opposer, ou jusqu'à quel point elle peut se prêter au jeu de ces forces : tout cela est nécessaire pour juger du service qu'on a droit d'en attendre.

Nous croyons donc être utiles à un certain nombre d'officiers, en publiant cet *Essai sur la théorie des affûts et des voitures d'artillerie*. Ils y trouveront rassemblées des notions qu'une longue lecture pourrait seule leur faire acquérir, et d'autres qu'en vain, ce nous semble, ils chercheraient ailleurs.

Le besoin d'un tel livre se faisait sentir depuis long-temps. Aussi, M. le ministre de la guerre chargea-t-il, en 1826, MM. *Migout*, *Bergery* et *Woisard*, répétiteur de l'école royale régimentaire à Metz, de rédiger un cours sur le matériel et les machines employées dans les divers établissemens de l'artillerie.

La première partie, celle du matériel, fut à-peu-près terminée en 1829, et envoyée au comité central. Mais déjà une mort prématurée avait, pendant l'hiver de 1827-1828, enlevé M. *Woisard* aux sciences qu'il cultivait avec tant de succès, et les notes laissées par ce savant professeur, pour la seconde partie, ne purent être mises en œuvre, parce que les événemens de 1830 vinrent interrompre le travail.

Néanmoins, ce qui se trouvait achevé pouvait être utile, et dans l'année suivante, les auteurs songèrent à le publier; mais ils rencontrèrent des obstacles contre lesquels leur dessein dut échouer. Autorisés enfin à le reprendre, ils ont étudié de nouveau le

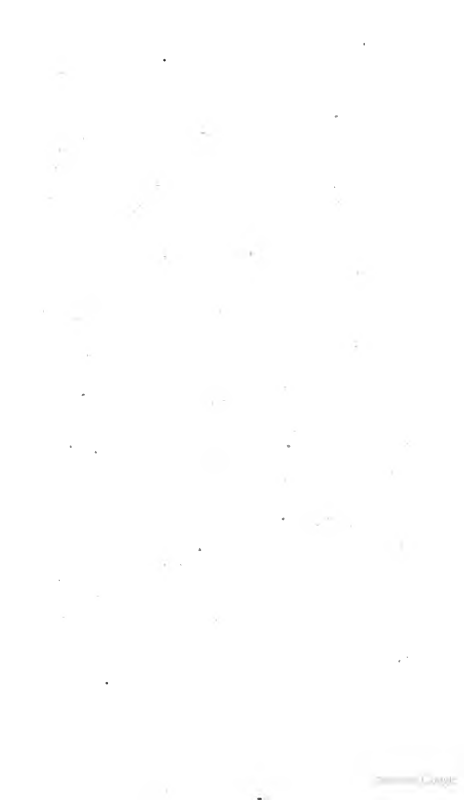
sujet, et sont arrivés à remplacer leurs premières théories, par d'autres plus complètes, quoique plus simples. La rédaction a même été refaite presque en totalité, car l'ordre des matières, leur division, une foule de détails ne pouvaient plus rester ce qu'ils étaient dans un travail primitivement destiné à s'appuyer sur un autre, relatif aux machines considérées d'une manière générale.

Le livre que nous donnons aujourd'hui, n'est donc pas réellement une partie du cours rédigé par la commission; il forme, pour ainsi dire, une œuvre toute nouvelle. Cependant, au fond, ce sont encore les mêmes idées et les mêmes principes; les auteurs ont dû s'imposer l'obligation de n'employer aucune des vues neuves que l'un d'eux a pu recueillir, en suivant le savant cours d'artillerie professé à l'école d'application, par M.^e le capitaine *Piobert*. On a même conservé à-peu-près tels qu'ils étaient dans l'origine, deux articles dus presque entièrement à M. *Woisard*: la détermination de la force motrice, consommée sur les traits (page 37), et celle de la perte de force vive qu'éprouvent les roues sur un sol inégal (page 57).

L'exposition des divers systèmes d'artillerie, qui devait commencer le cours, d'après le programme du ministre, a paru mieux placée à la fin de cet

essai ; car la théorie peut seule indiquer les motifs des créateurs, et faire apprécier la valeur relative de l'œuvre de chacun. Il résulte à la vérité de l'ordre suivi, que nos trois premières parties supposent connue la nomenclature ; mais il n'y a là aucun inconvénient pour des officiers d'artillerie, et d'ailleurs on a eu soin de définir brièvement les noms peu usités.

Nous n'avons pas prétendu dire dans notre avant-propos, en parlant du cours d'artillerie de M. le capitaine *Piobert*, qu'il n'y eût aucune idée commune à ce cours et à notre ouvrage. Cet officier avait traité les questions relatives aux affûts et aux voitures, dans deux Mémoires adressés au Comité de l'Artillerie, en 1820 et 1821. M. le capitaine *Migout*, de son côté, et sans avoir pris connaissance de ces Mémoires, adressa au Comité, en 1825, un travail ayant pour titre : *Notes sur la construction des affûts et des voitures de l'artillerie de campagne*. Des idées qui sont actuellement devenues du domaine de la science, peuvent donc se rencontrer à la fois dans le cours de M. *Piobert* et dans ce livre.



THÉORIE
DES AFFÛTS
ET DES
VOITURES D'ARTILLERIE.

Cet essai aura, comme l'annonce son titre, deux parties principales : la première traitera des voitures d'artillerie, en y comprenant les affûts placés sur leurs avant-trains ; la seconde considérera ces affûts pendant le tir. Mais ensuite, dans une troisième partie, nous exposerons les principes de la composition et du tracé des voitures, puis seront décrits les principaux assemblages employés pour la construction du matériel ; enfin, dans une quatrième et dernière partie, nous appliquerons les principes de la troisième à la discussion succincte des différens systèmes d'artillerie qui se sont succédé.

PREMIÈRE PARTIE.

VOITURES D'ARTILLERIE.

On ne saurait étudier fructueusement la théorie des voitures avant de connaître tout ce qui concerne leur traction. Nous devons donc d'abord nous occuper du tirage.

CHAPITRE PREMIER.

THÉORIE DU TIRAGE.

1. Un poids peut toujours exprimer l'effort qu'il faut exercer pour faire équilibre aux résistances qui s'opposent au mouvement d'une voiture prise dans l'état de repos : ainsi des chevaux qu'on y attellera auront fait un effort de Q kilogrammes, quand le mouvement sera sur le point de naître.

Une fois que la voiture a la vitesse avec laquelle elle doit se mouvoir, elle ne peut la conserver qu'en vertu d'un autre effort Q' , susceptible, comme le premier, d'être exprimé en kilogrammes, et capable de faire équilibre aux résistances qui s'opposent à la continuation du mouvement uniforme. Si ces résistances sont toujours les mêmes, la force Q' est constante ; si elles changent, l'effort à exercer est variable ; mais, dans le dernier cas, on peut ne considérer que sa valeur moyenne et la regarder comme constante.

Il faut connaître la force Q , quand on veut savoir si l'attelage parviendra à faire surmonter à la voiture un obstacle déterminé, en la tirant du repos, et pour cette circonstance particulière, on peut exiger des chevaux tout l'effort dont ils sont capables. Mais il n'en est plus ainsi, lorsqu'il s'agit de transporter la voiture à une distance donnée, et c'est alors la force Q' qu'on doit considérer. Si cette force est dirigée parallèlement au plan sur lequel la voiture se meut, et que l soit la longueur du chemin

à parcourir, Q' sera la quantité d'action qu'il faudra consommer pour effectuer le transport. Mais, si cette direction faisait un angle φ avec le plan sur lequel roule la voiture, l'effort Q' se décomposerait, la quantité d'action produite ne serait plus que $Q' \cos \varphi$, et l'autre composante $Q' \sin \varphi$ diminuerait la pression des roues sur le terrain, en chargeant les épaules du cheval et augmentant la pression des pieds de devant sur le sol.

Dans tous les cas, il importe de rendre aussi petite qu'il est possible, la quantité d'action que doit dépenser le moteur, pour effectuer un transport donné et pour l'effectuer d'une manière déterminée. On y parvient en rendant Q' un minimum, c'est-à-dire en réduisant autant que faire se peut, les résistances qui s'opposent au mouvement, et en adoptant le mode d'attelage le plus avantageux au moteur.

Nous avons donc à considérer le cheval comme moteur, à examiner les divers modes d'attelage et à déterminer les conditions qu'il faut remplir pour rendre le tirage facile.

SECTION PREMIÈRE.

DU CHEVAL MOTEUR.

2. Le cheval sert au transport des fardeaux de deux manières distinctes : comme bête de somme, quand il porte la charge sur son dos ; comme bête de trait, lorsqu'il est attelé. Ces deux modes, employés dans le service de l'artillerie, ont été mis en usage dès la plus haute antiquité, et cependant nous n'avons pas encore de données bien positives sur le *travail journalier* que peut faire le cheval dans l'un et dans l'autre cas. L'incertitude où nous sommes à cet égard, tient à la difficulté des observations ; car le poids que l'animal peut porter, et l'effort continu qu'il peut exercer dépendent de l'état physique de ce moteur, de la nature et de la configuration du sol, de la vitesse et de la durée du transport. Or, toutes ces choses sont susceptibles de varier à l'infini.

Il faut donc se contenter de données approximatives, et s'attendre à voir les moyennes fournies par l'expérience, varier d'un quart et même d'un tiers, soit en plus, soit en moins, suivant les circonstances dans lesquelles se trouvera placé le moteur.

3. Avant de parler du travail du cheval, nous devons faire

connaître les vitesses que, d'après l'expérience, il peut soutenir dans ses différentes allures.

VITESSES DU CHEVAL.

Les vitesses moyennes d'un cheval de selle ou de bât, qui travaille sur un chemin horizontal bien entretenu, sont :

Au pas, de.....	^m 1,10	à	^m 1,80	par seconde;
Au trot, de.....	2,20	à	3,50	<i>id.</i> ;
Au galop, de...	5,00	à	5,50	<i>id.</i>

Les deux premières allures sont les seules que l'animal puisse soutenir dans un travail journalier; encore faut-il pour cela, que sa vitesse soit la moindre de celles qui sont indiquées pour chacune de ces allures.

L'ordonnance sur les manœuvres de cavalerie fixe autrement les différentes vitesses des chevaux. Elle prescrit

Pour le pas, de...	^m 1,60	à	^m 1,80	par seconde;
Pour le trot, de...	3,20	à	3,40	<i>id.</i> ;
Pour le galop	5,00			<i>id.</i>

Les vitesses moyennes d'un cheval de trait qui travaille dans les circonstances précédemment spécifiées, sont

Au pas	^m 1,10,
Au trot.....	2,20.

Mais il faut observer que les chevaux de trait ne peuvent pas tous travailler au trot.

4. Quand le cheval suit un chemin incliné, sa vitesse doit être autre que celles que nous venons d'indiquer, si l'on veut que la fatigue reste la même. En outre, il faut que l'inclinaison ne dépasse pas une certaine limite; car le cheval ne peut gravir ou descendre, comme l'homme, des pentes d'une grande raideur. L'expérience apprend qu'il est imprudent de tenter de franchir, avec une voiture, soit en montant, soit en descendant, une pente inclinée à plus de 30°, quand elle est un peu longue. Cette même inclinaison est encore à-peu-près une limite, lorsque le cheval porte un cavalier.

TRAVAIL DU CHEVAL DE SOMME.

5. Un bon cheval de bât peut, sur une belle route, porter de 100 à 150^{kg}, et parcourir au pas, ainsi chargé, 40^{km}, environ

10 lieues de poste, en 10 heures. L'effet utile qu'il est possible d'en obtenir chaque jour, est donc représenté par un poids de 4000 à 6000^{kg} transportés à 1^{km}.

Mais, si le même cheval doit aller continuellement au trot, il faut réduire sa charge à 80^{kg}, pour qu'il puisse parcourir de 36 à 40^{km}, dans un jour, et l'effet utile est alors de 2880 à 3200^{kg} transportés à 1^{km}.

Quand, au lieu d'une matière entièrement inerte, c'est un cavalier et son équipage qui forment la charge du cheval, cet animal ne peut encore parcourir au pas, sur une belle route, que 40^{km} par jour, bien qu'il ne porte qu'environ 90^{kg}. Seulement, il n'emploie pour faire ce trajet que 7 à 8 heures, au lieu de 10. L'effet utile n'est donc, dans ce cas, que de 3600^{kg} transportés à 1^{km}.

6. Il importe de comparer le travail journalier du cheval de somme, à celui de l'homme qui transporte des fardeaux, sans l'aide d'aucune machine. Or, un colporteur peut, dans sa journée, porter à 20^{km}, une charge de 44^{kg}, ou produire un effet utile de 880^{kg} portés à 1^{km}, et comme l'effet utile moyen du cheval de bât est de 5000^{kg}, il en résulte que le même poids, à-peu-près, peut être transporté en un jour, à la même distance, par cinq hommes ou par un seul cheval. Mais, ce rapport de 1 à 5, entre le travail du colporteur et celui du cheval de bât, n'existe que sur un chemin horizontal : le cheval perd de son avantage sur un sol incliné.

EFFORT DE TRACTION DU CHEVAL.

7. Il faut apprécier l'effort de traction que peut exercer un cheval, pour déterminer la quantité d'action qu'il est susceptible de produire dans le tirage des voitures. On emploie à cet effet, un dynamomètre de Régnier ; mais cet instrument a besoin d'être vérifié avant et après l'expérience, ou plutôt il faut reconnaître à quels poids répondent réellement ses indications, attendu que les efforts qu'il supporte altèrent l'énergie de son ressort.

De nombreuses épreuves faites au dynamomètre, ont appris que l'effort momentané qu'un cheval peut exercer sans à-coups, varie entre 300 et 500^{kg}, selon la constitution de l'animal. Le plus grand effort momentané d'un cheval de moyenne force, serait donc de 400^{kg}.

Mais, cette notion ne suffit pas; il faut encore savoir sous quel angle la traction se fait le plus avantageusement; si la charge à dos la favorise ou la contrarie; en un mot, si, comme l'ont prétendu quelques savans, le maximum d'effort du cheval répond à une ligne de traction horizontale et à un certain poids placé sur l'animal.

8. M. le général *Berge* fit à Metz, en 1816, des expériences qui prouvent que, sur un terrain ferme, le cheval non chargé, doit, pour exercer le plus grand effort possible, tirer sous un angle de 10 à 12°, ou de 11° terme moyen. Le moteur agissait sur un dynamomètre qu'on avait fixé, d'un côté au milieu du palonnier auquel les traits étaient attachés, et de l'autre au milieu de la corde d'un arc en frêne qui faisait ressort et embrassait un poteau inébranlable. Cet appareil permettait de faire varier à volonté l'angle de traction: il ne s'agissait pour cela que d'élever ou d'abaisser l'arc en frêne.

Deux attelages, choisis dans un escadron du train d'artillerie, furent mis en expérience: l'un était composé de quatre chevaux forts et en bon état; l'autre, de quatre chevaux jugés les plus faibles de l'escadron, mais aussi en bon état. Un soldat tenait, par les rênes, près de la bouche, le cheval qu'on éprouvait, et le faisait alonger le plus possible, de manière qu'il tendit les traits de toute sa force et sans secousse.

Voici le tableau des résultats moyens déduits d'un très-grand nombre de résultats particuliers qui présentent beaucoup de régularité et qu'on a obtenus dans cinq séances différentes, faites chacune deux jours après la précédente:

INCLINAISON des TRAITS.	CHEVAL		CHEVAL de moyenne force.	OBSERVATIONS.
	FORT.	FAIBLE.		
0°	389 ¹ / ₂	346 ¹ / ₂	378 ¹ / ₂	L'excès de l'effort d'un cheval vigoureux, sur celui d'un cheval faible, est, terme moyen, 1/10 du premier effort.
6 à 7°	424	376	400	
10 à 12°	443	401	422	
13 à 16°	397	366	382	

Ainsi, 445^{kg}, 401^{kg}, 422^{kg}, les plus grands nombres des trois colonnes, répondent à un angle de 10 à 12°, comme nous l'avons annoncé. Il est d'ailleurs aisé de voir que sous un tel angle, l'effort momentané du cheval surpasse de plus d'un neuvième, celui que cet animal exerce horizontalement. Cela tient très-probablement à ce que le cheval ne peut tirer qu'en s'appuyant sur le sol, et à ce que l'appui qu'il y trouve n'est suffisant, pour l'entier développement de sa force, que dans le cas où ses jambes de devant sont chargées d'un certain poids, dépendant de la nature du terrain. On sait en effet que pour exercer un grand effort, le cheval baisse la tête et s'abandonne sur son devant. La théorie d'ailleurs confirme parfaitement notre explication ; car si nous adoptons 11° pour l'angle de traction, et que F soit l'effort exercé sous cet angle, $F \cos 11^\circ$ sera la composante horizontale, $F \sin 11^\circ$ sera la composante verticale agissant sur les épaules du cheval, et $\frac{\sin 11^\circ}{\cos 11^\circ} = \tan. 11^\circ = \frac{1}{5}$ sera le rapport de cette charge à l'effort horizontal ; ce qui apprend que sur un terrain semblable à celui où se sont faites les expériences, les épaules du cheval doivent supporter un poids égal à $\frac{1}{5}$ de l'effort horizontal, pour que cet effort soit un maximum. Dans les chemins glissants où le frottement est moindre, le rapport $\frac{1}{5}$ ou l'angle de traction devrait être augmenté, et dans le cas contraire, il faudrait le diminuer,

9. Il nous est facile maintenant d'apprécier l'effet qu'une charge à dos peut produire sur la traction. Cette charge se décompose en deux parties : l'une qui agit sur les jambes de derrière, l'autre qui presse les jambes de devant contre le sol. Si cette dernière est le $\frac{1}{5}$ du plus grand effort momentané que le cheval puisse exercer, il pourra le produire sur des traits horizontaux. Si le rapport est moindre que $\frac{1}{5}$, les traits devront être inclinés, mais sous un angle plus petit que 11°. Quant au poids que supporte l'arrière-main du moteur, il paraît n'avoir aucune influence sur la traction ; il ne peut qu'incommoder et fatiguer le cheval inutilement.

On ne doit pas conclure de cette discussion qu'il faille absolument incliner les traits de 11°, dans le travail journalier ; car nous verrons bientôt que l'effort continu qu'un cheval peut

exercer est seulement de 75^{ks}, poids bien inférieur à celui de 378^{ks} qui représente l'effort dans le cas où les traits sont horizontaux. Néanmoins, il y a de l'avantage à faire tirer habituellement un cheval sous l'angle de 11° : il se trouve alors capable d'exercer son effort maximum dans le cas où les obstacles du terrain l'exigent.

10. M. le général *Berge* a fait aussi en 1816, des expériences pour déterminer l'influence de la charge à dos sur la traction. Les chevaux agissaient comme dans les expériences précédentes et portaient soit un poids de 50 ou de 100^{ks}, soit un soldat du train. Voici les résultats qui ont été obtenus :

CHARGES.	ANGLES de TRACTION.	EFFORT EXERCÉ PAR UN CHEVAL		
		Fort.	Faible.	de moyenne force.
100 ^{ks}	6 à 7°	464 ^{ks}	377 ^{ks}	420 ^{ks}
50 à 60	10 à 12	443	361	402

On voit d'abord par ce tableau, que le maximum d'effort ne répond plus à l'angle de 11°, quand le cheval est chargé, et si l'on compare ce même tableau au précédent, on voit ensuite qu'un cheval chargé de 100^{ks} exerce sous l'angle de 6 à 7°, le même effort que sous l'angle de 10 à 12° lorsqu'il n'est pas chargé. Ainsi, la pression que produit la charge sur les jambes de devant du cheval, remplace une portion de celle qui résulte de la décomposition de l'effort, dans le cas où les traits sont plus inclinés; ce qui achève de justifier l'explication que nous avons donnée de l'influence qu'a l'inclinaison des traits sur l'effort du cheval.

11. Les circonstances des expériences que nous venons de rapporter; ne sont point celles qui se présentent dans la pratique, quand les chevaux exercent leurs efforts sur des voitures qu'il faut mettre en mouvement. M. le général *Berge* entreprit donc, pour obtenir des résultats applicables à ce cas, de déterminer le plus grand effort qu'un cheval puisse exercer en agissant sur une voiture. Il employa une limonière qui pouvait être fixée à

différentes hauteurs sur l'avant-train d'un chariot à munitions. Mais le but n'a pu être atteint, à cause d'anomalies inexplicables qui ont forcé de mettre fin aux expériences; cependant les données qu'a fournies cette tentative, n'en sont pas moins propres à faire apprécier la force du cheval, mieux qu'elle ne l'a été jusqu'à cette époque.

La limonière fut d'abord adaptée immédiatement à la voiture; le dynamomètre n'était point interposé. On fit agir le cheval qui paraissait le plus fort, mais qui n'avait pas justifié cette apparence dans les précédentes épreuves, et il déplaça la voiture alors qu'elle pesait 4880^{kg}. Il ne put la déplacer, lorsque le chargement fut augmenté et que le poids total se trouva de 5000^{kg}. Quant au cheval qui avait montré le plus de force en tirant sur le dynamomètre, il n'est parvenu à déplacer la voiture qu'au moment où le poids total fut réduit à 4000^{kg}.

Après ces premiers essais, le dynamomètre fut interposé et le poids total porté à 4500^{kg}. Il y eut un cheval qui ne put déplacer la voiture, bien qu'il fit un effort de 950^{kg}. Un autre cheval n'amena l'aiguille de l'instrument qu'à 850^{kg}. Enfin, on fit tirer de nouveau le cheval qui avait été mis le premier en expérience, et ce ne fut qu'en exerçant un effort de 1050^{kg}, qu'il parvint à déplacer la voiture.

Ainsi, le dynamomètre n'indique pas la vraie force des chevaux, quand on se borne à les faire tirer de manière à produire une pression (8): le cheval qui est attelé à une voiture, peut exercer par un coup de collier, un effort double de celui dont ordinairement on le suppose capable.

QUANTITÉ D'ACTION JOURNALIÈRE DU CHEVAL DE TRAIT.

12. La quantité d'action que peut produire journallement un cheval de trait, dépend, comme on sait, de l'effort continu qu'il est susceptible d'exercer; et la valeur moyenne de cet effort, eu égard à la nature des divers terrains et aux différents obstacles qui peuvent se présenter, ne saurait être déterminée par expérience, comme nous l'avons annoncé au commencement de ce chapitre. Il faut donc se contenter de quelques données relatives à des circonstances de tirage tout-à-fait particulières.

Après avoir consulté tous les auteurs qui ont écrit sur ce

sujet (*), après avoir examiné les résultats des expériences faites par la Société académique de Metz et par quelques particuliers, sur des charrues et des voitures, nous pensons que dans l'état actuel des données fournies par l'observation, on peut admettre qu'un cheval qui parcourt un mètre par seconde, est capable de produire chaque jour un effort continu de 70 à 80^{ks}, pendant 9 à 10 heures ou en parcourant de 32 à 36^{km}.

La quantité d'action continue d'un cheval de moyenne force vaut donc, pour une seconde, 75^{ks} élevés à un mètre dans le même temps, ou selon l'expression adoptée, 75 kilogrammes-mètres, que nous écrirons 75^k; mais on peut augmenter ou diminuer l'effort de traction, dans de certaines limites, pourvu qu'on diminue ou qu'on augmente proportionnellement la vitesse. Par exemple, les ingénieurs anglais, au dire de M. *Tredgold*, ont adopté pour la quantité d'action que produit un cheval par chaque seconde, 66^{ks} élevés à 1^m,12, et cette évaluation revient à très-peu-près à celle que nous proposons, puisqu'elle donne 73^{ks},92 élevés à un mètre.

Il est essentiel de faire observer qu'en portant à 75^{ks} l'effort continu d'un cheval de moyenne force, nous supposons que ce cheval soit en bon état et en bonne santé, que toute sa force soit employée au tirage, et que le travail ait lieu sur une grande route, en pays de plaine. Si ces conditions sont remplies et que le chargement de la voiture soit basé tant sur notre évaluation, que sur la résistance qu'une route horizontale fait éprouver au moteur, l'attelage franchira les montées ordinaires sans le secours de chevaux de conduite. Il n'en serait plus de même, si les pentes étaient tellement inclinées, que chaque cheval fût obligé d'y exercer un effort plus que double de son effort ordinaire, ou bien si les montées se présentaient fréquemment, ou encore si elles avaient une grande longueur. On ne se trouverait plus alors réellement en pays de plaine, et le chargement de la voiture devrait être réduit. Toutefois, quand les pentes sont peu

(*) Rapport de M. de *Prony* sur la pompe à feu du Gros-Cailloux; Mémoire sur une unité de force dynamique et cinquième leçon de mécanique par M. *Ch. Dupin*; M. *Navier*, sur un chemin de Paris au Havre; etc., etc.

rapides, elles n'ont pas, quoique fréquentes, une influence bien sensible sur le travail, ni sur la fatigue des chevaux, parce que les descentes font regagner ce que font perdre les montées.

13. Il est encore un cas où notre évaluation de l'effort continu du cheval, ne peut être employée : c'est celui d'une allure plus vive que le pas. Certainement il faudrait prendre alors moins de 75^k pour cet effort : quant à sa vraie valeur, elle est encore tout-à-fait inconnue. M. *Tredgold* assigne bien les efforts que peut exercer le cheval avec différents degrés de vitesse ; mais comme cet auteur envisage la question sous un point de vue purement théorique, que rien ne justifie ses formules, qu'il les pose même sans les appuyer d'aucun raisonnement, nous pensons que les résultats qu'il en déduit, ne méritent aucune confiance.

14. Il nous reste à comparer les quantités d'action journalières que le cheval et l'homme produisent en agissant par traction. Or, M. *Navier* nous apprend que le dernier de ces moteurs peut faire un effort continu de 12^k , lorsqu'il travaille pendant 8 heures, en parcourant $0^m,60$ par seconde, ou que sa quantité d'action journalière est de 207360^k ; et d'après ce que nous avons précédemment établi, celle du cheval sera $75^k \times 34200'' = 2565000^k$, si nous portons la durée du travail à 9 heures et demie. Par conséquent, la quantité d'action journalière du cheval de trait, est à celle d'un homme qui agit aussi par traction :: $256500 : 20736$ ou plus simplement :: $12 : 1$. Quant aux efforts constants de ces deux moteurs, leur rapport est à-peu-près celui de 6 à 1.

TRAVAIL DU CHEVAL DE VOITURE.

15. C'est surtout pour arriver à la détermination du travail journalier que peut faire un cheval attelé à une voiture, qu'il est utile de connaître la quantité d'action que ce moteur est capable de dépenser chaque jour.

Nous entendons par travail, le produit du poids total que le cheval peut traîner pendant toute une journée, multiplié par la distance qu'il peut parcourir. Ainsi, en désignant par P le poids total de la voiture et du chargement, par V la vitesse moyenne du transport et par T la durée de la marche, nous aurons $P \times V \times T$ pour expression du travail effectué dans le temps T ;

et si nous désignons par m le rapport de P à l'effort continu Q' (1) qu'un cheval peut exercer journellement, le travail sera exprimé aussi par $m \times Q' \times V \times T$. Or, dans ce dernier produit, la partie $Q' \times V \times T$ est la quantité d'action qui peut être dépensée par le moteur dans le temps T , et dont nous nous sommes déjà occupés. Il nous reste donc à trouver la valeur du rapport m . Mais ce rapport est bien loin d'être constant: il varie évidemment avec la composition de la voiture, avec la nature du chemin et généralement avec la vitesse du transport; de sorte que pour obtenir une valeur moyenne et exacte de m , il faudrait faire des expériences spéciales sur chaque modèle de voiture, et les faire dans des terrains très-différens, avec les vitesses qu'exigent les divers services.

16. De semblables expériences n'ont pas été entreprises jusqu'à présent; peut-être même reculera-t-on long-temps encore devant les difficultés qu'elles présentent et les dépenses qu'elles occasionneraient. Nous sommes donc obligés de nous borner, pour donner une idée des diverses valeurs du rapport m ou du rapport $1/m$ de l'effort Q' au poids P , à présenter dans le tableau suivant les résultats obtenus par M. le comte de *Rumford*, en y joignant ceux des seules expériences particulières dont nous ayons connaissance et qui méritent quelque confiance.

ESPÈCE DE VOITURE employée.	NATURE des CORNES PASCOURS.	VITESSE du TRANSPORT.	VALEUR du RAPPORT. 1/m.	OBSERVATIONS.
M ^r le comte de Rumford.	Pavé bien entretenu....	Petit pas.....	1/46	(a) Rapports généralement admis. Les détails des expériences ne nous sont pas connus.
		Grand pas....	1/36	
		Petit trot.....	1/24	
		Grand trot...	1/15	
Voiture suspendue à 4 roues.	Accotemens d'une route pavée et belle route en empièremment.	Pour tous les degrés de vitesse.	1/25	
	Terrain peu sablonneux. très-sablonneux.	Pour tous les degrés de vitesse.	1/22	
			1/9	
Voiture de l'artillerie de campagne. (Mars, 1825.)	Route chargée de pierres non encore recouvertes.	Petit pas.....	1/9	
	Belle pelouse.....		1/22	
	Champ récemment labou- ré, et piécé ensuite.	Au pas.....	1/10	
Voitures de roulage.	Route en empièremment.	Au pas.....	1/12	(a)
	Route pavée.....		1/20	

Les expériences du comte de Rumford ayant été faites sur des voitures de luxe, ne peuvent servir pour les voitures non suspendues, que dans les cas où il ne se produit point de cahots. Tout ce qu'on en peut conclure, c'est que les faits d'accord avec la théorie, montrent que dans les chemins raboteux, la résistance de la voiture croît avec la vitesse et très-rapidement, tandis qu'elle est à-peu-près indépendante de la vitesse et constante, lorsque la voiture roule sur un terrain ferme et uni, ou sur un sol très-sablonneux. Par exemple, la voiture suspendue de M. de Rumford, a offert, à très-peu-près, la même résistance, soit au petit pas, soit au trot, tant qu'elle est restée sur des accotemens en très-bon état; la résistance provenant de sables très-profonds, n'a pas non plus varié avec la vitesse; mais sur un

pavé bien entretenu, la résistance s'est trouvée, au petit trot, presque double de ce qu'elle était au petit pas, et le grand trot l'a triplée.

17. De ce que le tirage d'une voiture qui roule sur un bon chemin de terre, n'est pas sensiblement augmenté par un accroissement de vitesse, il ne faut pas conclure, comme *M. de Rumford*, que si l'on avait un long voyage à faire avec les mêmes chevaux et sur de belles routes, on dût parcourir les intervalles des étapes au trot plutôt qu'au pas; car la quantité d'action que peut fournir chaque jour, un cheval qui trotte continuellement, étant beaucoup moindre que celle qu'il peut produire en marchant au pas, il faudrait, pour que le travail, dans les deux allures, restât le même, que les résistances de la voiture fussent en raison directe des quantités d'action, et c'est ce qui est loin d'avoir lieu, même sur un beau chemin en terre, puisque, d'après le tableau précédent, ces résistances sont égales.

TRANSPORT AU PAS.

18. Nous pouvons maintenant justifier la valeur 75^{ks} que nous avons admise pour l'effort continu d'un cheval de moyenne force; il suffit de faire quelques applications des valeurs du rapport $1/m$. Nous choisirons celles qui se rapportent aux voitures de roulage, plus analogues aux voitures d'artillerie, que les voitures suspendues du comte de *Rumford*. Les résultats que nous obtiendrons, nous feront en même temps apprécier le travail au pas.

Si nous multiplions d'abord par 12, puis par 20, l'effort continu 75^{ks} que le cheval de moyenne force peut exercer au pas, nous trouverons que sur une route en empierrement, il peut trainer 900^{ks} , savoir :

Chargement.....	700^{ks}
Poids de la voiture.....	200
TOTAL.....	900

et que sur une route pavée, le même cheval peut trainer 1500^{ks} , savoir :

Chargement.....	1300^{ks}
Poids de la voiture.....	200
TOTAL.....	1500

Comme le moteur peut d'ailleurs parcourir de 32 à 36^{km}

chaque jour, en exerçant un effort continu de 75^{kg} , il est capable de transporter, dans une journée, 900 ou 1500^{kg} à une distance de 32 à 36^{km} , suivant la nature de la route et la configuration du terrain qu'on suppose pourtant celle d'un pays de plaine.

M. Navier, dans le mémoire précédemment cité, adopte 80^{kg} pour l'effort continu d'un bon cheval de trait. D'après cela et d'après les rapports qui viennent d'être indiqués, il porte à 960^{kg} le poids total d'une voiture roulant sur une route en empierrement, et à 1600^{kg} celui d'une voiture roulant sur le pavé. Ainsi, notre évaluation n'est pas trop élevée pour un cheval de moyenne force. Ajoutons, pour la justifier encore davantage, que dans les procès-verbaux des préposés aux ponts à bascule, la charge des voitures qui circulent sur les routes des environs de Paris, dépasse souvent 2000^{kg} par cheval; que les rouliers de diverses contrées de la France font, terme moyen, 32^{km} chaque jour avec un chargement de 1140^{kg} par cheval; que les voituriers qui parcourent un terrain accidenté, chargent à raison de 912^{kg} par cheval; enfin, qu'avec des chevaux de forces inégales, les rouliers qui ont à passer dans des chemins dégradés ou sablonneux, adoptent un chargement de 712^{kg} par cheval.

TRANSPORT AU TROT.

19. On sait, d'après M. Navier, qu'un cheval attelé à une voiture, transporte une charge de 350^{kg} à environ 36^{km} , quand il soutient le trot pendant 4 heures et demie, sur une route horizontale. Mais ce n'est là qu'un minimum, car d'après M. Ch. Dupin, un cheval de diligence, trainant une charge de 360^{kg} , non compris le poids de la voiture, parcourt au trot un espace de 34 à 38^{km} , et en Angleterre, le cheval de diligence transporte 450^{kg} à 40^{km} .

SECTION DEUXIÈME.

COMPOSITION DES ATTELAGES.

20. Dans tout ce que nous venons d'établir sur le travail du cheval, nous avons supposé que l'animal fût de moyenne force et que toute son action s'exercât sur la voiture. Il faut donc prendre ces hypothèses en considération, si l'on adopte les données précédentes pour les bases de la composition des attelages. Ainsi, dans le cas où un cheval n'atteint pas à la force moyenne, son effort doit être évalué à 70^{kg} seulement, et il y a

nécessité de le réduire encore, si le cheval doit porter un conducteur; car sa fatigue surpasse alors évidemment celle du cheval qui ne fait que tirer, dans le cas où il exerce un effort continu égal à celui de ce dernier.

C'est pour qu'il n'en soit pas ainsi qu'on recommande à chaque conducteur de ménager son porteur et d'exciter son sous-verge; mais ce soin qui pourrait être efficace pour les chevaux de derrière dont les traits sont attachés à une volée fixe, ne saurait être imposé aux conducteurs des chevaux de devant, quand ces chevaux tirent sur une volée placée au bout du timon: cette volée étant mobile, il faut nécessairement que les efforts exercés à ses deux extrémités soient égaux. Ainsi, dans ce cas, le porteur fatigue réellement plus que le sous-verge, et l'on peut admettre qu'il en est de même pour toutes les autres couples, si l'on considère combien peu les conducteurs s'inquiètent de maintenir l'égalité entre le travail total des chevaux qu'ils montent et le tirage des autres. Il est d'ailleurs plusieurs circonstances où il devient nécessaire de faire exercer aux porteurs tout l'effort dont ils sont capables. Afin donc de ne point accabler ces chevaux sous un excès de fatigue, il convient de rendre le chargement moins grand qu'il ne pourrait être, de mettre en porteurs les chevaux les plus forts, et de les placer pendant quelques jours en sous-verges, dès qu'on s'aperçoit qu'ils sont plus fatigués que les autres.

21. Mais, pour modifier le chargement de manière que le tirage ne pût jamais épuiser les forces des porteurs, il faudrait connaître quelle doit être l'action de ces chevaux sur la voiture, pour qu'ils n'éprouvent pas plus de fatigue qu'un sous-verge libre. L'expérience n'a fourni encore aucune espèce de données sur ce point important. M. Ch. Dupin, en blâmant l'usage où l'on est en France de faire conduire les diligences par un postillon, se borne à présumer que le transport de cet homme, ainsi fait à dos, consomme *les deux tiers* de la force du porteur. Il s'ensuivrait que l'action de ce cheval sur la voiture, ne serait que le tiers de celle d'un autre. Mais, si nous observons que le rapport de ces deux actions est d'autant plus près de l'unité, que la vitesse est moindre et que le travail du sous-verge s'éloigne davantage du maximum, nous verrons que ce rapport peut

être regardé comme égal à $\frac{1}{2}$ dans les attelages d'artillerie, supposé toutefois que $\frac{1}{2}$ ne soit pas trop faible pour ceux des diligences. Et en effet, les chevaux de ces voitures sont presque toujours au trot; on exige d'eux tout le travail qu'ils peuvent faire dans un jour; tandis que les chevaux d'artillerie font toutes leurs marches au pas, qu'ils ne trottent que dans les manœuvres ou quand on est à la poursuite de l'ennemi, et que ceux dont on exige habituellement le plus grand travail journalier, sont cependant loin de consommer toute la quantité d'action qu'ils peuvent dépenser chaque jour, attendu que le chargement des voitures est réglé de telle façon qu'elles puissent être tirées des plus mauvais chemins par leurs attelages.

Ainsi, en traitant de la composition des attelages, nous admettrons que le travail d'un porteur est, pour le tirage, la moitié de celui d'un sous-verge parfaitement libre dans ses mouvemens, bien que ce rapport soit probablement trop faible.

22. L'examen que nous avons fait de la force du cheval n'offrira d'utilité réelle, qu'autant que nous pourrions déterminer le nombre des chevaux qui devront être attelés sur les voitures de l'artillerie.

Ce nombre se déduirait immédiatement des n^{os} 18 et 19, si les voitures ne devaient se mouvoir que sur de beaux chemins et avec une vitesse déterminée. Mais, si l'on considère que toutes doivent être en état de passer par de très-mauvais chemins, que plusieurs doivent parcourir des terrains accidentés et détrempés par la pluie, qu'en outre la vitesse des transports n'est pas réglée, et qu'on sait seulement qu'il faut que les attelages de telles voitures puissent prendre le trot et même le galop, tandis que la durée de ces allures dépend des événemens de la guerre; si l'on considère enfin que les évaluations précédemment données supposent un cheval en bon état, tandis que les privations de toute espèce que cet animal éprouve souvent en campagne, réduisent considérablement ses forces, il sera facile de conclure que la question qui nous occupe n'est pas susceptible d'une solution exacte, et que la force des attelages devrait varier avec la nature des pays dans lesquels on fait la guerre.

Malgré cette conclusion, la composition des attelages nous paraît un point trop important, pour que nous négligions de

présenter quelques considérations qui serviront du moins à faire connaître comment cette question pourrait être traitée et qui donneront une idée des effets qu'on peut attendre des attelages des voitures d'artillerie.

Le nombre des chevaux dont un attelage doit être composé, dépend du poids de la voiture et de l'effort continu que le moteur peut exercer; or cet effort variant avec la vitesse du transport, et celle-ci étant réglée par la nature du service, il convient de distinguer trois classes d'attelages: les attelages des batteries, ceux des parcs de campagne et ceux des parcs de siège.

Sous la première de ces dénominations, nous comprenons les attelages de l'artillerie à pied et ceux de l'artillerie à cheval: ils pouvaient être différens, lorsque ces deux services employaient l'ancien matériel de campagne; mais ils doivent être les mêmes, maintenant qu'on a donné plus de célérité aux mouvemens de l'artillerie à pied, en composant les voitures de telle manière que les canonniers peuvent être transportés au besoin, partie avec les bouches à feu, partie avec les munitions.

ATTELAGES DES BATTERIES.

23. Occupons-nous d'abord des attelages des batteries et recherchons le poids que la nature du service permet à chaque cheval de trainer en campagne. Nous partirons, pour cela, de ce principe que les chevaux de trait de l'artillerie à cheval qui appuie sans cesse les mouvemens de la cavalerie, doivent ne pas éprouver plus de fatigue que les chevaux des escadrons. Il s'ensuit qu'à forces égales et en bonne santé, ces deux sortes de chevaux doivent transporter des poids qui soient entre eux comme les travaux journaliers relatifs à la même allure.

Le travail journalier d'un bon cheval de selle allant au pas et sur un beau chemin horizontal, a été évalué à 3600^{ks} transportés à 1^{km} (5), et nous avons fixé à 75^{ks} l'effort continu d'un cheval ordinaire qui parcourt au pas 34^{km} par jour. Mais il y a dans un attelage d'artillerie, autant de porteurs que de sous-verges, et nous avons admis que l'effort de chacun des premiers n'est que la moitié de celui d'un des seconds; nous prendrons donc 112^{ks} pour l'effort de chaque couple de chevaux, et par conséquent 56^{ks} pour l'effort moyen de chaque cheval de trait.

Afin de nous mettre dans les circonstances les plus défavorables, nous supposons que l'effort de traction de chaque cheval est $\frac{1}{2}$ du poids total qu'il peut transporter au moyen de la voiture. Cette hypothèse compensera les augmentations de résistance qui surviennent en campagne, par suite de la nature de certains terrains qu'on est obligé de parcourir, puisque la résistance n'est réellement que $\frac{1}{10}$ du poids total dans une terre nouvellement labourée et piochée, et qu'elle ne va qu'à $\frac{1}{12}$ sur une route en empierrement. Le cheval de trait pourrait donc toujours, dans son travail journalier, transporter un poids de 7 fois 56^{ks} ou 392^{ks} à 34^{km}, ce qui revient à 13328^{ks} transportés à 1^{km}. La supériorité de ce poids sur celui de 3600^{ks} qui a été trouvé pour le cheval de selle, provient de l'avantage que la voiture donne au moteur pour le transport, et comme le rapport de 13328 à 3600 est 3,7, le cheval de trait peut trainer, même dans les mauvais chemins, 3,7 fois la charge d'un cheval d'escadron, sans éprouver plus de fatigue. Or, cette charge est de 90^{ks} dans la cavalerie légère; par conséquent, chaque cheval de trait d'une batterie trainera 333^{ks}. Certainement il éprouvera parfois, en transportant un pareil poids, une fatigue plus grande que celle du cheval d'escadron: quand, par exemple, le terrain sera fortement accidenté ou qu'il faudra manœuvrer dans des terres labourées et détrempées par la pluie. Mais, cette fatigue ne s'étendra pas au-delà d'une journée, et pour l'ordinaire, le cheval attelé ne traînant que 333^{ks}, sera loin de consommer toute la quantité d'action qu'il peut fournir; tandis que le cheval du cavalier, dont le travail restera constamment au maximum, éprouvera chaque jour toute la fatigue qu'il peut supporter. Ainsi, après un certain nombre de journées au pas, les chevaux des attelages se trouveront moins fatigués que ceux des escadrons, si le poids de la voiture réparti entre tous les chevaux, ne donne pas plus de 333^{ks} à chacun ou eu nombre rond 330^{ks}.

24. Il faut maintenant examiner si ce poids de 330^{ks} par cheval n'est pas trop fort pour les circonstances où les batteries doivent suivre la cavalerie au trot. Nous avons vu (19) que dans les entreprises de diligences, on fait traîner 360^{ks} par cheval, même quand l'attelage étant composé de 6 chevaux, exige deux postillons. Or, ce poids de 360^{ks} surpassant de 30^{ks} celui que

nous avons fixé ci-dessus, il s'ensuit que sur les belles routes, les attelages des batteries pourraient faire leur travail au trot; mais il n'en serait plus de même, si l'on avait à parcourir de mauvais chemins ou des terres labourées: comme les résistances de la voiture augmentent alors, tandis que la marche du cheval devient plus pénible, la fatigue de ce moteur excéderait celle qu'il peut supporter journellement. Si donc les batteries devaient manœuvrer fréquemment au trot dans des terrains difficiles, il conviendrait de faire traîner moins de 330^{ks} par cheval.

Mais dans les circonstances que nous supposons, le cheval d'escadron ne pourrait pas non plus manœuvrer journellement au trot; car, en supposant même que ce cheval travaillât sur une belle route, le poids de 90^{ks} qu'il porte devrait être réduit à 80^{ks}, et la réduction devrait être plus grande encore pour le cas des terrains difficiles (5). Ainsi les poids de 330^{ks} et de 90^{ks} qui sont très-convenables lorsque les marches s'effectuent au pas, sont l'un et l'autre trop forts, lorsque les chevaux travaillent au trot. Cependant, à cause de l'accroissement que reçoivent les résistances de la voiture dans les mauvais chemins, il est hors de doute qu'alors l'excès de fatigue du cheval de trait, l'emporte sur celui du cheval de selle, mais il nous semble que la différence est plus que compensée par celle des services: le cheval d'escadron devant trotter beaucoup plus souvent que le cheval de trait. Nous pouvons donc regarder le poids de 350^{ks} comme satisfaisant à la condition que nous avons posée en principe.

25. La discussion précédente prouve néanmoins que 330^{ks} est un maximum au-dessous duquel on devra se tenir, lorsqu'on aura à déterminer le nombre de chevaux des attelages qui font le service très-actif des batteries de division. Mais on pourra le prendre pour base de la composition des attelages des batteries de réserve; car ces batteries exécutent habituellement au pas leurs mouvemens, et ce ne sera pas s'exposer à ruiner les chevaux, que d'en exiger un travail extraordinaire, dans les circonstances où les réserves auront à se porter rapidement sur un point déterminé. Cela nous montre que s'il est de principe que les batteries de réserve soient formées des plus gros calibres, par compensation chaque cheval de leurs attelages peut traîner un plus grand poids que s'il travaillait dans une batterie de division.

ATTELAGES DES PARCS DE SIÈGE.

26. Il nous reste à chercher le poids qu'un cheval peut trainer journellement, à raison de la nature du service des parcs. Nous considérerons d'abord l'équipage de siège, parce que l'évaluation à laquelle nous arriverons, nous servira pour celle que nous avons à faire touchant les parcs de campagne.

Bien que l'équipage de siège suive ordinairement au pas les grandes communications, on ne peut songer à faire traîner aux chevaux le même poids qu'ils pourraient transporter dans le service du commerce: la réduction des rations, le manque momentané de nourriture et les bivouacs leur occasionnent des pertes de force souvent fort grandes, et malgré cet affaiblissement, le transport doit s'effectuer. Il est donc nécessaire de restreindre le poids total de chaque voiture, de telle sorte que, dans tous les cas, il n'excède point les moyens de l'attelage. A cet effet, nous adopterons encore $\frac{1}{2}$ pour le rapport de l'effort d'un porteur à celui d'un sous-verge; au lieu de 75^{ks} nous prendrons 70^{ks} pour l'effort de traction qu'un cheval non monté peut exercer journellement et d'une manière continue, effort qui est celui des chevaux faibles; enfin, nous supposerons que le rapport de cet effort au poids total que peut trainer le cheval, soit $\frac{1}{5}$, comme s'il s'agissait de chemins fort mal entretenus.

D'après cela, l'effort de chaque couple de chevaux sera $70^{ks} + 35^{ks}$ ou 105^{ks} , et l'effort moyen de chaque cheval de l'attelage sera de $52^{ks},5$ ou en nombre rond de 50^{ks} . Comme ce poids représente aussi la portion de résistance que peut vaincre continuellement le moteur, nous trouverons $50^{ks} \times 9$ ou 450^{ks} pour le poids qui produit cette résistance, c'est-à-dire pour celui que chaque cheval de l'attelage pourra trainer dans toutes les circonstances du tirage. Cette évaluation admise, il ne s'agira plus que de diviser le poids total de la voiture, par 450, pour déterminer le nombre des chevaux à employer.

ATTELAGES DES PARCS DE CAMPAGNE.

27. Si maintenant nous considérons que les voitures des parcs de campagne doivent rouler avec plus de rapidité que les voitures de siège, et que leur transport n'a pas besoin d'autant de célérité que celui des voitures de batterie, nous verrons qu'un

poids moyen entre 450^{ks} et 330^{ks}, c'est-à-dire un poids de 390^{ks}, représentera assez exactement celui qui peut être journellement transporté par chacun des chevaux employés dans les parcs de campagne.

Ainsi, d'après cette discussion, le poids qu'un cheval peut trainer dans toutes les circonstances de la guerre, est,

Pour les attelages des batteries, de.....	330 ^{ks}
Pour ceux des parcs de campagne, de.....	390
Pour ceux des parcs de siège, de.....	450

28. Il convient de comparer les poids qui viennent d'être déduits du travail journalier que peut faire le cheval, à ceux qu'il traine réellement, d'après la composition actuelle des attelages de l'artillerie et le poids total de chaque voiture. A cette fin, nous formerons un tableau qui offrira ce poids, le nombre des chevaux attelés sur la voiture, et le quotient du premier nombre par le second ou le poids que traine effectivement chaque cheval; puis le poids qui peut être trainé, d'après les évaluations précédentes, et le quotient du poids total de la voiture divisé par celui-là, ou le nombre des chevaux dont l'attelage devrait être composé.

Aucune décision ministérielle n'a fixé le nombre des chevaux de chaque attelage; mais on trouve dans l'Aide-Mémoire de *Gassendi*, à l'article de l'équipage de campagne, qu'à l'époque où les batteries étaient composées chacune de 8 bouches à feu, la pièce de 12 et la forge étaient attelées de six chevaux, tandis que toutes les autres voitures n'en avaient que quatre. Lorsque les bouches à feu de chaque batterie furent réduites à 6, toutes les pièces, les caissons qui les suivaient au feu, et les forges eurent six chevaux, mais les attelages des autres voitures ne furent pas changés. Ces données se trouvent reproduites dans le dictionnaire de M.^e le général *Cotty*, publié en 1822. Nous devons donc regarder les attelages des batteries comme composés de six chevaux, et ceux des parcs de campagne comme formés de quatre chevaux seulement.

Les ouvrages qui viennent d'être cités parlent de l'ancien système d'artillerie, et cependant, ils ne font mention d'aucune différence entre les attelages de l'artillerie à pied et ceux de l'artillerie à cheval. L'Aide-Mémoire semble seulement indiquer

que les derniers ont été composés de six chevaux avant les premiers.

Quant à l'équipage de siège, l'Aide-Mémoire donne dix chevaux au chariot qui porte le canon de 24, huit au même chariot chargé d'une pièce de 16, et quatre à toutes les autres voitures.

C'est avec ces documents que nous allons dresser le tableau annoncé.

DÉSIGNATION DES VOITURES.	Poids des voitures chargées.	Nombr ^e des chevaux de l'attelage actuel.	Poids qui en résulte pour chaque cheval.	Poids qui vient d'être indiqué pour chaque cheval.	Nombr ^e des chevaux nécessaires par attelage.	Nombr ^e des chevaux qui doivent être employés.
	kg.		kg.			
Batteries de campagne.	Pièces de... { 12	2116	6	353	6,40	8
	8	1736	6	290	5,26	6
	Caissons de... { 12	1760	6	293	5,33	6
	8	1682	6	280	5,00	6
Voitures des parcs de campagne....	1682	4	420	390	4,30	4
Parc de siège.	Chariot porte-corps chargé d'une pièce de { 24	4165	10	416	9,25	10
	16	3336	6	417	7,40	8

Comme le mode d'attelage des avant-trains à timon, nécessite que les chevaux soient en nombre pair à chaque voiture, nous avons ajouté une septième colonne dans laquelle se trouvent les nombres pairs qui approchent le plus des nombres fractionnaires déduits du poids que le cheval peut trainer journallement. Cette colonne indique donc combien de chevaux on doit mettre sur chaque voiture. Son accord avec la troisième colonne prouve que les attelages actuels de l'artillerie sont convenablement composés.

Nous terminerons ces considérations générales sur les attelages, en faisant observer que le poids moyen qui peut être traîné par chaque cheval, diminue à mesure qu'on augmente le nombre des chevaux de la voiture; la diminution est même d'autant plus rapide, que la célérité du transport doit être plus grande et que la nature des chemins rend la marche des chevaux plus pénible. Nous verrons, en effet, dans la section suivante qu'une

voiture qui doit se mouvoir avec une grande vitesse et parcourir toute espèce de terrain, ne peut pas être attelée de plus de six chevaux. Il s'ensuit que le poids de chaque espèce de voiture et de son chargement est limité par la nature du service.

SECTION TROISIÈME.

MODES D'ATTELAGE.

29. De tous les modes qu'on puisse employer pour atteler des chevaux à une voiture, le meilleur serait évidemment celui qui réduirait au minimum la fatigue de chaque cheval et ne lui laisserait, par conséquent, d'autre effort à exercer que la traction nécessaire par le poids à transporter.

D'après cela, tous les traits devraient faire avec l'horizon l'angle le plus favorable au motenr; chaque cheval devrait être entièrement libre dans ses mouvemens et n'avoir à supporter aucune partie de l'effort des chevaux qui le précéderaient. Toutefois un mode d'attelage qui ne satisferait qu'à ces trois conditions, ne serait pas encore parfait, relativement au service de l'artillerie; il faudrait en outre qu'on pût atteler et dételar avec une grande promptitude, de nuit comme de jour, par tous les temps, dans toutes les saisons, et même dans les cas où le danger ne laisse pas aux conducteurs tout leur sang froid; il faudrait que la chute d'un cheval n'occasionnât jamais celle d'un autre, et qu'un cheval tué pût être remplacé avec facilité, quelle que fût sa place dans l'attelage; il faudrait même qu'il n'y eût pas nécessité d'opérer ce remplacement et qu'il fût possible de continuer la marche, immédiatement après avoir décroché ou coupé les traits; il faudrait enfin, que les conducteurs montés sur les chevaux ne fussent nullement gênés, soit par la voiture, soit par les accessoires.

Mais si l'on possédait un mode d'attelage qui remplit parfaitement toutes ces conditions, on aurait encore à le rendre applicable aux différentes espèces de voitures qu'emploie l'artillerie, et il y a impossibilité reconnue de réunir, dans certains services, tous les avantages d'un mode d'attelage parfait, sans rien sacrifier de la mobilité, ni des autres propriétés des voitures. On est donc forcé d'employer pour chaque espèce, un mode particulier qui laisse plus ou moins à désirer; de sorte que

l'artillerie a trois modes d'attelage différens : celui des charrettes, celui des voitures qui ont un timon et dont l'avant-train est appuyé en arrière de son essieu, celui des voitures qui ont un timon soutenu par les chevaux, et qu'on appelle voitures à support. Dans ces trois modes, les chevaux sont placés par couples. Ainsi, l'on a proscrit l'attelage à la française, ou sur une seule file, que *Gribeauval* avait adapté à toutes les voitures de l'équipage de siège. Bien que ce mode ne soit plus employé que pour certaines voitures du commerce, nous allons pourtant l'examiner, afin de faire connaître les défauts qui l'ont fait abandonner, et de mieux apprécier les avantages et les inconvéniens des autres attelages.

ATTELAGE À LA FRANÇAISE.

50. Des chevaux qu'autrefois on attelait à une charrette sur une seule ligne, le dernier était entre les limons : il soutenait la partie antérieure de la voiture, au moyen de la dossière ; il empêchait cette même partie de s'élever, au moyen de la sous-ventrière de limons ; il faisait reculer tout le système ou le retenait dans les descentes, au moyen de l'avaloire et des chaînes de retraite fixées aux limons ; enfin il contribuait au mouvement en avant, au moyen de deux traits et d'un collier. La dossière était reçue par une selette qui l'empêchait de frotter sur le dos de l'animal et multipliait les points d'appui.

Les chevaux de devant dont l'unique fonction était de tirer, n'avaient besoin chacun que d'un collier et de deux traits. Ces traits étaient attachés au collier du cheval suivant, et pour qu'ils ne pussent jamais embarrasser les jambes de l'animal qui les portait ou prendre sur son dos une position peu propre au tirage, ils étaient soutenus par une courroie *porte-traits* et liés par une sous-ventrière. Il en était de même de ceux du limonier, à l'exception qu'on les attachait à la voiture. Pour que les traits ne pussent blesser les chevaux par leur frottement, ils passaient dans des fourreaux en cuir, auxquels étaient fixés le porte-traits et la sous-ventrière.

Mais on tarda peu à introduire dans ce système, une modification importante : les traits de chaque cheval de devant furent attachés à ceux du cheval suivant, un peu en arrière du collier.

Ainsi, l'attelage à la française rendrait fort longues les colonnes d'artillerie; tous les chevaux de devant y exercent leurs efforts sur les traits du dernier, et cet animal ne peut être ferme sur ses jambes que dans les beaux chemins et pendant la marche au pas: dans les terrains raboteux et surtout si l'on y marchait au trot, il serait exposé aux chocs violens des limons, tiré à droite ou à gauche par les autres chevaux et continuellement forcé à faire des mouvemens brusques, pour éviter d'être renversé; on sent bien qu'un travail aussi pénible ne pourrait être soutenu long-temps. Dans les chemins défoncés, les mêmes effets se produiraient et le limonier se trouverait dans l'impossibilité d'éviter les trous et les ornières. Si l'on avait à couper les sillons d'un champ, le même cheval encore fortement baloté, éprouverait en outre des chocs dirigés tantôt de haut en bas, tantôt de bas en haut, et obligé d'employer toutes ses forces pour résister, il se laisserait trainer par les autres chevaux. Qu'on eût à franchir des crêtes ou des ravins, les énormes efforts qui s'exerceraient sur les traits du limonier, écraseraient cet animal ou lui feraient perdre terre. Dans les descentes, il est seul pour retenir la voiture et il souffre d'autant plus que la pente est plus rapide, que le sol est plus raboteux ou plus glissant; il se trouve même exposé à de graves accidens. Enfin, s'il s'agit d'un brusque changement de direction, le limonier est jeté contre l'un des limons et fortement pressé par le trait opposé. Ainsi, comme l'a dit *Gribeauval*, ce cheval, le principal de l'attelage, est promptement ruiné; bientôt il ne travaille plus, il se fait tirer, et l'attelage entier ne tarde pas à être hors de service.

Les autres chevaux ne fatiguent pas autant que le limonier, sans doute; mais à l'exception de celui qui marche le premier, il s'en faut beaucoup qu'ils soient libres dans leurs mouvemens, puisque chacun d'eux est forcé de résister ou d'obéir aux efforts obliques de ceux qui le précèdent. Une telle dépendance doit nécessairement rendre leur travail très-pénible, surtout quand les chemins sont mauvais ou que le terrain est accidenté.

Ajoutons qu'aucun des chevaux ne peut tirer sous l'angle le plus favorable, et que par suite la résistance n'est jamais réduite au minimum. En effet, les chevaux de devant ont une taille inférieure à celle du limonier, de sorte que si les traits de ce

cheval étaient inclinés vers la voiture, ceux du cheval précédent se trouveraient inclinés en sens contraire et feraient un assez grand angle avec les premiers; d'où résulterait une perte de force certainement plus considérable que la réduction de la résistance.

Mais ce ne sont pas là les seuls inconvéniens de l'attelage à la française: s'il est simple et facile d'atteler un cheval de devant, de le relever lorsqu'il s'est abattu, de le remplacer lorsqu'il est tué, ces opérations sont compliquées et difficiles quand elles concernent le limonier. Il faut alors placer ou fixer un grand nombre d'objets, et ce qui souvent demande plus de temps encore, il faut avant tout introduire l'animal entre les limons. Vient-il à s'abattre pendant la marche? on est presque toujours obligé de le dételer pour le relever, puis de l'atteler de nouveau; il en résulte une notable perte de temps, et cette perte de temps pourrait avoir de graves conséquences sur un champ de bataille. D'ailleurs, l'accident peut occasionner la rupture de l'un des limons. Qu'une blessure mette le même cheval hors d'état de servir, on ne peut se remettre en mouvement avant de l'avoir remplacé, et non-seulement alors il faut dételer, puis atteler de nouveau, mais il faut encore déharnacher l'animal qu'on abandonne et garnir de son harnais un autre cheval. Nous pouvons bien dire que toutes ces opérations seraient impraticables dans un cas pressant, et qu'on se trouverait forcé de laisser la voiture en arrière.

ATTELAGE DES CHARRETTES D'ARTILLERIE.

51. De tous les défauts que nous venons de reconnaître dans l'attelage à la française, il en est qui tiennent à la manière dont sont placés les chevaux, et d'autres qui dérivent évidemment de la composition de la voiture. Pour éviter entièrement ces derniers, il faudrait donc abandonner la charrette, et c'est ce qu'on ne peut faire, attendu qu'elle est indispensable pour le service des sièges. Mais on a diminué de beaucoup la fatigue du limonier, en sacrifiant une partie de l'espace destiné au chargement, c'est-à-dire en restreignant les dimensions de la charrette d'artillerie, à celles que permettent les tournans très-courts des tranchées. On a d'ailleurs fait disparaître entièrement les inconvéniens d'une seule file de chevaux, en plaçant de front les deux qui sont attelés

maintenant sur la voiture : l'un est mis entre les limons et dirige le mouvement ; l'autre qui ne fait que tirer, est à gauche, et ses traits terminés par un anneau, sont attachés à la voiture au moyen d'un crochet passé dans un piton que porte le limon de ce côté. Une traverse en bois qui fait la fourche à chaque bout, donne aux traits, sans causer aucune perte de force, l'écartement qu'il doivent avoir pour ne point blesser le cheval.

L'attelage de front adapté à la charrette offre en outre cet autre avantage, que le conducteur peut monter sur le cheval de gauche et diriger plus sûrement. Mais pour qu'il ne soit pas gêné par le limon, sa jambe droite doit en dépasser le bout. A cette fin, le point d'attache des traits du porteur est placé à une distance convenable en avant de ceux des traits du limonier.

Nous ferons remarquer toutefois que par suite de la position du porteur, l'attelage ne pourrait passer dans des chemins qui n'auraient en largeur que la voie de la voiture. En outre, le limonier est obligé de résister continuellement à la rotation que tend à faire naître la résultante des deux efforts, qui ne passe point par le milieu de l'essieu.

ATTELAGE DES VOITURES A LIMONNIÈRE.

32. L'attelage des voitures à quatre roues dont l'avant-train porte des bras de limonnière, était autrefois le même que l'attelage à la française ; mais dans ces derniers temps il a été perfectionné : on a placé l'un des bras de limonnière selon l'axe de la voiture, et l'autre à droite, de sorte qu'on a pu employer l'attelage par couples, sans tomber dans les deux inconvénients qui viennent d'être signalés pour la nouvelle charrette.

D'ailleurs, la fatigue du limonier est bien moins grande dans les voitures qui ont deux trains, que dans celles qui n'en ont qu'un, supposé que le tirage exige les mêmes efforts dans les unes et dans les autres. En effet, le poids dont le limonier se trouve chargé par l'avant-train est faible et subit peu de variations dans les terrains accidentés, tandis que ces variations qui dépendent évidemment de la masse en mouvement autour de l'essieu, peuvent être très-grandes pour les charrettes. D'un autre côté, les chocs qui proviennent des limons augmentent, toutes choses égales d'ailleurs, avec la masse ; par conséquent, ils n'ont pas,

pour une voiture à quatre roues, à beaucoup près la même intensité que pour une charrette, puisque l'avant-train a peu de masse.

Ce n'est donc pas précisément à cause du surcroît de fatigue occasionné par la limonière, qu'on ne l'emploie plus dans notre artillerie; ce n'est pas non plus parce qu'elle exige que les traits des chevaux de devant soient attachés à ceux des autres, puisque cette disposition subsiste, comme on le verra, dans le mode d'attelage récemment adopté pour les voitures à timon.

Le rejet de la limonière a pour causes les graves inconvénients qui résultent de la complication des harnais du limonier et que nous avons signalés en parlant de l'attelage à la française; puis la gêne que le bras de limonière de gauche cause au dernier conducteur; enfin la fatigue qu'éprouve dans les descentes le cheval de limons, chargé seul de retenir la voiture. Cependant, ces défauts n'ont pas empêché les anglais d'employer les avant-trains à bras de limonière, dans leur artillerie de campagne.

ATTELAGE A L'ALLEMANDE.

35. Pour faire agir des chevaux sur une voiture à timon, dont l'avant-train s'appuie en arrière de son essieu, on fait usage de l'attelage dit à l'allemande. La voiture est dirigée par deux chevaux de derrière qui marchent l'un à droite, l'autre à gauche du timon; leurs traits sont attachés, soit à une volée fixée sur les armons, soit à des palonniers que porte cette volée. Deux chaînes pendantes au bout du timon servent à faire reculer la voiture et à la retenir dans les descentes. Chacun des deux chevaux agit avec ses reins sur l'une de ces chaînes, au moyen d'un crochet placé en avant du collier. Ce crochet porte un anneau dans lequel passe la plate-longue, large courroie qui réunit les deux extrémités de l'avaloire et que soutiennent deux autres anneaux attachés aux attelles. A cela se réduit tout le harnais dont un cheval de derrière a besoin pour agir sur une voiture, quand l'avant-train est appuyé en arrière de son essieu: il ne lui faut ni dossière, ni sous-ventrière de limons, ni selette. L'attelage à l'allemande est donc plus simple que l'attelage à la française.

Le harnais nécessaire aux chevaux de devant pour la traction,

est absolument le même dans les deux modes ; mais non pas le système que forment les traits. Dans l'attelage allemand, les deux chevaux qui précèdent immédiatement ceux de derrière, tirent sur une volée mobile, accrochée au bout du timon, et ce n'est que dans le cas où la charge exige plus de quatre chevaux, que les autres tirent sur les traits de ceux qui les suivent.

Enfin, la moitié des chevaux, ceux de la file de gauche, portent à la fois le harnais d'un cheval de trait et celui d'un cheval de selle, parce qu'ils doivent être montés par des conducteurs. Il est en effet indispensable dans l'artillerie de campagne, que chaque couple de l'attelage ait un conducteur monté, attendu que cette artillerie doit manœuvrer au trot, quelquefois même au galop, et que les chevaux-souvent effrayés par le feu, ont besoin d'être maintenus.

Les attelages de l'équipage de siège présentent aussi des porteurs et des sous-verges, bien que les voitures de cet équipage soient presque toujours conduites au pas. Le motif qui a fait adopter absolument le même harnachement pour deux services si différens, est que dans les marches de nuit, et pendant les attaques de convoi, il est nécessaire que chaque couple d'un attelage de siège soit bien gouvernée et sûrement maintenue. D'ailleurs, il est avantageux, sous le rapport de la simplicité du matériel, et de la facilité des remplacements, d'employer le même harnais pour les voitures analogues des trois sortes d'équipages qu'une armée traîne à sa suite.

34. Voyons maintenant quels sont les avantages et les inconvéniens de l'attelage à l'allemande.

Quand un tel attelage n'a pas plus de quatre chevaux, il satisfait à presque toutes les conditions d'un attelage parfait. Effectivement ; en raison de ce que les deux chevaux de devant tirent sur la volée mobile et de ce que l'avant-train a un appui en arrière de son essieu, chaque cheval de derrière jouit d'une grande liberté dans ses mouvemens ; il peut prendre avec aisance et conserver long-temps toutes les allures qui lui sont naturelles ; il a la facilité d'éviter les mauvais pas ; il n'éprouve aucun choc, aucune pression de la part de la voiture ; excepté dans des cas très-rares, que nous indiquerons bientôt, il ne supporte, quelle que soit sa taille, aucune partie de l'effort des autres chevaux,

et par conséquent, sa fatigue ne résulte que de la quantité d'action qu'il consomme sur la voiture.

Dans toute espèce de descentes, les deux chevaux de derrière, maintenus par leur conducteur, partagent entre eux le travail, et ce travail ne peut occasionner d'accident, même dans les tournans les plus courts. Il est vrai que par suite des positions obliques qu'ont les chaînes de retraite, l'action de ces deux chevaux pour retenir la voiture, ne s'exerce pas selon l'axe du timon; mais la perte de force qui en résulte n'est pas bien considérable.

Comme les chevaux de volée n'entraînent point ceux de timon, dans les changemens de direction, le conducteur de ces derniers a toute la facilité qu'il peut avoir pour régler le mouvement de l'avant-train, de manière que l'une des roues de devant ne rencontre pas le corps de voiture, et dans le cas même où le premier soldat tournerait trop court, le dernier pourrait encore diriger convenablement le mouvement de l'avant-train, en faisant agir fortement celui de ses chevaux qui se trouverait du côté de la nouvelle direction.

Enfin, si le changement de direction a lieu au moment où les roues sont engagées dans de profondes ornières, le timon devient, pour les chevaux de volée, un grand bras de levier au moyen duquel ils peuvent dégager l'avant-train.

La volée de derrière peut être placée de manière à donner aux traits l'inclinaison qu'ils doivent avoir, pour que la résistance soit un minimum, et pour que les chevaux de timon puissent exercer sur la voiture le plus grand effort momentané, dont ils sont capables. Il n'y a pas lieu, à la vérité, de donner la même inclinaison aux traits des chevaux de volée, puisque ces traits doivent être contenus dans le plan du bout du timon et de l'essieu de l'avant-train, pour qu'il n'y ait pas d'effort exercé sur la première de ces pièces. Mais, comme la plupart des voitures d'artillerie n'ont que quatre chevaux, l'attelage allemand permet de faire tirer de la manière la plus favorable presque la moitié des chevaux employés au charroi, et un pareil avantage n'est pas peu important.

Quant aux opérations à faire pour atteler un cheval selon le mode allemand et pour le dételier, elles sont toujours et très-

simples et très-courtes, surtout depuis que les traits sont terminés chacun par une chaîne qu'il suffit d'engager dans un crochet fixé aux volées ou aux palonniers. Avant l'adoption de ce moyen, le trait formait une boucle à son extrémité, et cette boucle servait à en faire une autre dans laquelle on introduisait l'un des bouts du palonnier. Mais ce mode d'attache était défectueux, en ce que la seconde boucle devenait difficile à défaire, quand elle se trouvait serrée par l'effet du tirage et de la pluie.

Enfin, il est aisé de voir qu'un cheval quelconque peut s'abattre sans entraîner aucun des trois autres dans sa chute; qu'il faudrait qu'un cheval de derrière tombât précisément sur le timon, pour que l'accident en occasionnât la fracture; que ce même cheval peut presque toujours se relever, sans qu'on soit obligé de le dételé; que le remplacement d'un cheval blessé ou tué est d'une telle facilité qu'on peut l'effectuer dans presque tous les cas; que s'il y avait urgence, la marche pourrait être continuée, avec un seul cheval au timon; que si le terrain n'était pas accidenté, il y aurait même possibilité de faire avancer la voiture avec les deux chevaux de volée seulement; que s'il fallait abandonner un de ces animaux et qu'on ne pût le remplacer, on n'aurait qu'à enlever la volée mobile et à continuer le mouvement avec les deux chevaux de timon, ou ce qui ne serait pas long, on pourrait attacher vers les deux bouts de la volée, les traits du cheval de devant restant.

Ainsi, non-seulement, l'attelage à l'allemande est bien plus simple que l'attelage à la française, mais encore il a sur ce dernier de très-grands avantages, quand la voiture n'exige que quatre chevaux. Ce n'est que dans le cas où le timon aurait un très-grand jeu, que les chevaux de derrière seraient parfois obligés de supporter une partie de l'effort de ceux qui les précèdent. Si, par exemple, on franchissait une crête, fortement prononcée, il arriverait un moment où les prolongemens des traits des chevaux de devant, passeraient au-dessus de l'axe de l'essieu d'avant-train; la traction forcerait le bout du timon à s'abaisser, et s'il s'abaissait d'une quantité plus grande que la longueur des chaînes de retraite, il en résulterait une pression sur le cou et sur les épaules des chevaux de derrière. Qu'on eût au contraire à traverser un ravin étroit, les prolongemens des

mêmes traits passeraient au-dessous de l'axe de l'essieu d'avant-train ; le bout du timon s'élèverait, et s'il s'élevait de manière à tendre les chaînes, les chevaux de derrière éprouveraient une pression opposée à la précédente. Mais la longueur des chaînes est telle que ces pressions ne pourraient avoir lieu que dans des circonstances très-rares, et comme d'ailleurs une portion de l'effort exercé sur les chevaux de timon, serait reportée sur leurs fesses, attendu que la plate-longe et par suite l'avaloire se trouveraient tirées par les chaînes, les pressions seraient bien loin d'avoir assez d'intensité pour abattre les chevaux ou pour leur faire perdre pied. L'expérience prouve en effet que, dans les cas supposés, aucun accident de cette nature n'arrive, même lorsque les pentes sont des plus rapides. Nous devons en conclure que l'attelage à l'allemande composé de quatre chevaux est, sinon parfait, du moins fort voisin de la perfection.

33. Il n'en est plus ainsi, dans l'artillerie, quand l'attelage est plus nombreux. S'il est composé de six chevaux, les deux premiers sont attelés sur les snivans, ceux-ci perdent leur indépendance et les deux derniers ont de plus grands efforts à supporter, lorsque la voiture permet de franchir des crêtes ou des ravins. Cependant, comme chaque cheval de volée n'est soumis qu'à l'action d'un autre, son travail ne peut pas être augmenté d'une manière très-sensible, par la force qui se consomme sur les traits, et à raison de la répartition des pressions supportées par les chevaux de timon, l'accroissement de ces pressions, causé par deux chevaux de plus, n'est pas assez grand pour occasionner des accidens. L'expérience montre effectivement que les chevaux de derrière d'un attelage à trois couples ne sont ni soulevés, ni abattus dans les passages d'obstacles.

Ainsi, quoique l'attelage à l'allemande de l'artillerie perde une partie de ses avantages, que ses défauts s'aggravent, quand il se compose de six chevaux, on peut cependant le regarder comme étant encore d'un fort bon emploi. Mais il suffit que le chargement exige huit chevaux, pour retomber dans presque tous les inconvéniens de l'attelage sur une seule file, relativement aux chevaux de volée qui alors sont soumis chacun à l'action de deux autres. Quant aux chevaux de derrière, il arriverait certainement qu'ils seraient abattus, si l'on tentait de faire franchir à un pareil

attelage, des obstacles considérables. Concluons de là que les voitures de l'équipage de campagne, qui ont à passer dans toute sorte de chemins, doivent n'avoir que six chevaux. Aussi, les attelages plus nombreux ne sont-ils employés que dans l'équipage de siège, dont les voitures suivent ordinairement les grandes routes. La dépendance où se trouvent tous les chevaux qui sont en avant du timon, les deux premiers exceptés, n'en existe pas moins ; mais bien qu'elle augmente de beaucoup la fatigue de l'attelage, on est obligé de la laisser subsister. Il serait impossible effectivement d'adapter à des voitures qui ont à cheminer pendant la nuit, et quelquefois au trot, le moyen compliqué dont on fait usage dans l'attelage par couple du commerce, pour rendre huit ou dix chevaux indépendans les uns des autres. Ce moyen consiste, comme on sait, à fixer au bout du timon, l'extrémité d'une longue chaîne portant autant de volées garnies de deux palonniers, qu'il y a de couples de chevaux en avant des deux derniers ; mais il est aisé de sentir qu'il faut une allure lente et une attention continuelle, pour empêcher que les chevaux ne s'embarrassent dans les traits et dans les volées ; d'ailleurs, les chaînes augmentent la fatigue des chevaux par leur poids, et font que la traction s'exerce ordinairement de haut en bas sur le bont du timon.

PALONNIERS.

56. Avant de considérer l'attelage des voitures à support, nous avons à parler d'une question très-controversée : Est-il plus avantageux à l'artillerie d'employer des volées à palonniers, que des volées simples ? Les partisans des palonniers disent avec raison que ces parties d'une volée rendent mobiles les points d'attache des traits, que par suite le collier peut obéir au mouvement des épaules du cheval, et que les blessures sont rares ; tandis qu'au contraire elles seraient fréquentes si l'on employait des volées simples, attendu que le collier finissant par se durcir, formerait une sorte d'appui fixe, contre lequel heurteraient continuellement tantôt l'une, tantôt l'autre épaule du cheval. Ce serait surtout quand les deux traits se trouveraient inégaux, qu'il serait inévitable que l'épaule placée du côté du trait le plus court, ne fût bientôt endommagée ; car alors la traction serait bien plus forte

de ce côté que de l'autre. Il pourrait même arriver dans tous les cas, que lors d'un changement de direction, les chevaux ne tirassent que sur un seul trait.

Ceux qui rejettent les palonniers, répondent que s'ils sont avantageux aux chevaux de derrière, parce que ceux-là tirent sur une volée vraiment fixe, ils ne servent nullement aux autres; que la volée du bout du timon est suffisamment mobile, pour permettre au collier d'obéir au mouvement des épaules, et que dans les attelages à six chevaux les palonniers de cette volée ne prennent pas la position qui convient au tirage particulier de chaque cheval, puisque chacun d'eux obéit à deux chevaux, par suite du mode d'attache des traits. L'emploi des palonniers, ajoutent-ils, exige qu'on en transporte comme rechanges; car ils se perdent, ils se cassent fréquemment, souvent même ils sont volés, et s'il faut dételier un cheval abattu, le palonnier peut rendre l'opération difficile, attendu que l'un des traits fixés à ses extrémités se trouve parfois tellement engagé sous le cheval et si fortement tendu, qu'on ne saurait le détacher ou le décrocher, sans de grands efforts ou sans faire avancer la voiture.

ATTELAGE DES VOITURES A TIMON ET A SUPPORT.

37. La sassoire diminuant considérablement la mobilité des voitures, a été supprimée dans celles qui doivent pouvoir franchir de grands obstacles; mais par suite de cette suppression, l'avant-train ne trouve plus d'appui contre le dessous du corps de voiture, et les chevaux de derrière sont obligés de soutenir le timon. C'est pour leur en donner le moyen qu'on fixe à l'extrémité de cette pièce et en travers, un support sur chaque branche duquel glisse un anneau attaché par une courroie à la partie inférieure du collier.

Le support n'empêche en rien l'emploi de l'attelage par couples; Mais il force de renoncer à une partie des avantages du mode allemand, puisqu'il est impossible de faire tirer sur une volée mobile, les chevaux qui précèdent le timon. On sent en effet que sur les colliers de ceux de derrière, s'exercerait parfois une grande partie de l'effort de tous les autres, attendu que les oscillations verticales du timon, très-sensibles dans certains terrains, élèveraient ou abaisseraient les traits attachés à la volée

mobile, et qu'ils feraient alors un angle prononcé avec le plan formé par le bout du timon et l'axe du premier essieu. D'ailleurs, cette volée augmenterait la charge ordinaire des chevaux de derrière et même l'intensité des percussions que le support fait produire aux colliers.

Ce n'est donc pas précisément l'attelage dit à l'allemande qu'on emploie pour les voitures à timon, qui n'ont pas de sassoire; on place bien les chevaux par couples, mais ils tirent chacun sur les traits de celui qui suit dans la même file. Cette disposition a fait supprimer les palonniers de la volée de derrière, car d'un côté, ils devraient être très-forts pour résister à l'action de toute une file de chevaux, et d'un autre, ne pouvant plus obéir aux mouvemens d'épaule des deux derniers, ils compliqueraient inutilement le matériel. Du reste, les harnais sont les mêmes que pour les voitures à timon et à sassoire.

On voit, d'après cela, que l'attelage des voitures à support présente la plupart des avantages du mode allemand, et que ceux qui lui manquent sont compensés par l'indépendance complète où se trouvent les deux trains, l'un par rapport à l'autre. Il résulte effectivement de cette indépendance que la voiture jouit d'une mobilité qui lui permet de passer partout où passent les chevaux, sans éprouver aucune avarie.

38. Comme la composition du support, son remplacement et la manière de le lier aux chevaux peuvent varier, nous croyons utile d'établir, avant de terminer, les conditions auxquelles doit satisfaire cette pièce.

Il faut que le support exerce son action sur une des parties du cheval les moins sensibles, afin que cet animal ne puisse jamais être blessé, même par les percussions que les chemins raboteux font produire au timon et dont l'intensité croît avec la vitesse de la marche; il faut que la position du support soit telle qu'il ne gêne ni les chevaux de derrière, ni leur conducteur, soit quand le tirage se fait à plein collier, soit dans les descentes, soit dans les tournans très-courts, soit lorsqu'un des chevaux se trouve plus élevé que l'autre, soit enfin dans tout autre circonstance; il faut que le support, tant par lui-même que par la manière dont il est attaché aux harnais des chevaux, leur laisse la liberté de s'éloigner du timon ou de s'en rapprocher, liberté

qui leur est nécessaire dans les chemins dégradés ou étroits; il faut encore que l'emploi du support ne complique point les opérations à faire pour atteler et pour dételer, que cette pièce ne puisse être brisée par suite de la chute de l'un des chevaux de derrière et qu'elle n'occasionne pas celle de l'autre; il faut de plus que le timon soit porté assez haut pour ne pas gêner la marche des chevaux, assez bas pour que le conducteur n'en soit point incommodé, et les oscillations de cette pièce doivent avoir des limites fort rapprochées, quels que soient le terrain et la vitesse. Ajoutons que la voiture à laquelle on adapte un pareil mode d'attelage, doit, pour que le support soit absolument sans inconvénients, être construite de manière que le poids soutenu par les chevaux de derrière se trouve peu considérable, et que ce poids soit indépendant de la charge à transporter, ou du moins qu'il ne puisse varier qu'entre des limites bien déterminées.

FORCE CONSOMMÉE SUR LES TRAITs.

39. Nous avons signalé la dépendance des chevaux, comme un des plus grands défauts de l'attelage à la française et même de l'attelage par couples, dans les voitures à limonière, dans celles qui ont un support et dans celles qui, pourvues d'une volée de devant, exigent plus de quatre chevaux; mais, pour ne point interrompre la discussion, nous nous sommes bornés à dire que de cette dépendance résulte qu'une partie de l'effort de chaque cheval, est consommée d'une manière très-nuisible sur les traits de celui qui le suit. Il nous reste donc à donner l'expression analytique de cette force qui est tout-à-fait perdue pour la traction, et à examiner par quels moyens on peut la réduire à son minimum.

Supposons en premier lieu que la voiture et l'attelage se meuvent sur un seul et même plan, et que tous les traits qui se coupent soient compris dans un plan vertical, ce qui exige que le terrain soit parfaitement uni et que les chevaux forment une file rigoureusement droite; soient (fig. 1) ABC, BB'C', B'B''Q'' et B''C''' les traits attachés les uns aux autres en B, B', B'', aux colliers en C, C', C'', C''' et à la voiture en A; admettons pour un instant qu'on décroche ces traits en C, C', C'' et qu'on

fasse avancer le cheval C''' de manière à tendre le système de cordons $ABB'B''C'''$. Les longues de traits BC , $B'C'$, $B''C''$ penderont verticalement, et si nous négligeons les poids des cordes, la ligne AC''' sera droite. La figure 1 deviendra donc la figure 2. Menons alors par C''' une parallèle $C'''D$ au terrain; elle ne pourra passer au-dessous de AC''' , car si elle y passait, le point C''' serait plus bas que A et tous les chevaux tireraient de haut en bas, ce qu'il faut absolument éviter. Il importe au contraire qu'ils tirent de bas en haut, et par conséquent AC''' doit aller rencontrer le terrain en arrière de A , ou bien ce point A doit être moins élevé que les points où les traits s'attachent aux colliers des chevaux.

Il est clair d'après cela que si les longues de traits BC_1 , $B'C'_1$, $B''C''_1$ sont respectivement égales aux distances des points B , B' , B'' à la droite DC''' , on pourra les accrocher aux colliers en C_1 , C'_1 , C''_1 , c'est-à-dire que des chevaux de même taille pourront être placés de manière qu'au repos les traits soient pliés comme ABC_1 , $BB'C'_1$, $B'B''C''_1$ et que les parties AB , BB' , $B'B''$, $B''C'''$ forment une ligne droite. Cette disposition rendrait chaque cheval tout-à-fait indépendant des mouvemens brusques de ceux qui le précèdent; car la traction exercée par le premier cheval C''' ne produirait évidemment aucun choc, aucune pression sur les autres, et si les deux premiers tiraient à la fois, $B''C''_1$ s'inclinerait, le point B'' s'élèverait et les cordons $B'C'_1$, BC_1 , au lieu d'être tendus, se trouveraient tout-à-fait lâches, du moins tant que la file de chevaux resterait droite. Que dans cette circonstance, le cheval C''' vienne à faire un mouvement brusque, ce mouvement aura pour effet de rendre droite, la ligne brisée $AB''C'''$ (fig. 1) ou tout au moins de diminuer l'angle $AB''C'''$, en faisant avancer le sommet B'' ; $B''C''_1$ se trouvera alors moins inclinée sur $B''C'''$ et cette longe de trait sera tout-à-fait lâche. Or, ce que nous venons de dire d'un cheval, par rapport à celui qui le suit, peut se dire aussi d'un nombre quelconque de chevaux par rapport aux autres. Il y aura donc pour chaque cheval autant d'indépendance qu'on puisse lui en donner, c'est-à-dire qu'il ne se ressentira nullement des mouvemens brusques du reste de l'attelage et que la pression qu'il supportera sur le cou et les épaules, sera restreinte à celle

qui proviendra de son effort de traction et de la direction de cet effort, direction toujours inclinée sur l'horizontale.

Tout cela suppose, il est vrai, que les points où les traits s'attachent aux colliers, sont à la même distance du sol, et généralement il n'en est pas ainsi, puisque les chevaux n'ont pas tous la même taille; mais il suffit de donner aux longues de traits BC, etc., une longueur un peu plus grande que celle qui convient à la figure 2, pour que tout se passe de la manière indiquée, malgré les petites différences de taille qui pourront se trouver entre les chevaux.

Il suffirait même d'augmenter encore davantage les longues de trait, pour que l'indépendance eût lieu sur un terrain accidenté, tel qu'un champ labouré en large sillons, puisque dans un tel cas il ne s'agit que d'empêcher BC, B'C', etc. de se tendre par suite de l'abaissement ou de l'exhaussement des points d'attache A, C, C', etc. Mais, les longueurs de BC, B'C', etc. sont limitées par l'emplacement des fourreaux de cuir que traversent les traits: si BC, B'C' étaient dans ces fourreaux, il arriverait souvent qu'ils formeraient des lignes brisées, et si l'on plaçait les points d'attache B, B', etc. en arrière des mêmes fourreaux, chaque cheval se trouverait, dans les changemens de direction, presque enveloppé par l'un des traits du cheval précédent, et serait beaucoup trop maîtrisé. Il faut donc que BC, B'C', etc. soient entièrement en avant des fourreaux.

De là suit que les chevaux cesseront d'être indépendans les uns des autres, toutes les fois que le sol ne leur permettra pas d'être tous ensemble et avec la voiture, sur un même plan, c'est-à-dire dans les terrains accidentés, dans les chemins défoncés: c'est là un inconvénient qu'on ne peut ôter aux modes d'attelage dans lesquels chaque cheval tire sur les traits du suivant. Nous donnerons plus loin l'expression analytique de la pression qui est exercée dans de tels cas, sur les colliers. Auparavant, il convient d'examiner ce qui se passe quand tous les chevaux tirent ensemble sur les traits disposés comme ceux de la figure 2.

40. Les traits se plient en B, B', B'' (fig. 3), et forment un polygone funiculaire dont le dernier côté AB a pour tension l'effort transmis à la voiture. Nous supposons pour évaluer cette tension, que les positions des points C''', C'', C', C et les lon-

guez $C''B''$, $C'B''$, $C'B'$, CB , aient été fixées arbitrairement ; nous appellerons Q l'effort exercé par chaque cheval, et tout en construisant successivement les divers côtés du polygone, nous estimerons la tension de chacun.

Comme les deux cordons $C''B''$, $C'B''$ sont tendus l'un et l'autre par une force Q , la direction du côté $B'B''$ doit diviser en deux parties égales l'angle $C''B''C''$, et par conséquent, la tension t'' de ce même côté a pour expression $2Q \cos C''B''t''$, ce qui porte la force perdue à $2Q(1 - \cos C''B''t'')$. Ayant tracé $t''B''$, nous trouverons B' en décrivant de C' , avec un rayon égal à la longueur assignée pour $C'B'$, un arc qui coupera deux fois le prolongement de $t''B''$, et en prenant celle des deux intersections qui se trouvera le plus près de A . Pour avoir la direction $B'B$, il faudra diviser l'angle $C'B'B''$ en deux parties $C'B't'$, $t'B'B''$ telles que leurs sinus soient entre eux comme la tension t'' est à Q . La tension t' du même côté sera $t'' \cos B''B't' + Q \cos C'B't'$, et la perte totale de force se trouvera de $3Q - (t'' \cos B''B't' + Q \cos C'B't')$. Faisant pour chacun des côtés restans, ce qui a été fait pour BB' , on trouvera la direction du dernier AB , sa tension t ou l'effort transmis à la voiture, et l'on aura la perte totale de force en retranchant la valeur de t , du poids Q multiplié par le nombre de chevaux.

Il importe de rendre cette perte très-faible et en même temps de faire tirer chaque cheval sous l'angle le plus favorable. On pourrait y parvenir en fixant convenablement les positions des points C , C' , C'' que nous avons laissées indéterminées : il faudrait que ces points se trouvassent sur une droite AC''' faisant avec l'horizontale un angle d'environ 12° (fig. 2), car l'expérience paraît indiquer que cette inclinaison rend la résistance un minimum. Mais alors les chevaux les plus petits devraient être attelés immédiatement à la voiture, et l'excès de taille d'une couple sur la suivante, devrait être constant, ou bien la longueur des traits varierait d'une couple, à l'autre. Si, pour éviter ces conditions qu'on ne saurait remplir sans de graves inconvéniens, on plaçait tous les points A , C , C' , C'' , C''' sur une même horizontale, on n'aurait plus, il est vrai, aucune perte de force provenant du polygone funiculaire, mais on sacrifierait l'avantage que donne l'inclinaison des traits, et l'on se mettrait dans

l'obligation d'avoir des chevaux exactement de même taille. Si enfin, la droite AC''' était inclinée de A vers C''' , et que tous les points C , C' , C''' fussent placés sur cette droite, les chevaux les plus grands et par conséquent les plus forts, pourraient se tronver les derniers; mais il faudrait aussi des traits d'inégales longueurs ou une différence constante entre la taille des chevaux d'une couple et la taille de ceux de la couple suivante, et la ligne commune de traction serait inclinée dans un sens contraire à celui qui diminue les résistances et permet au motenr l'entier déploiement de sa force (8).

On est donc forcé de renoncer à l'avantage qu'offrirait la suppression des angles du polygone de la figure 3, et il fant se borner à faire en sorte que les points C , C' , C''' soient peu élevés au-dessus de AC''' . Si, par exemple, les angles $C''B't''$, $C'B't'$, $t'B'B''$, etc. ne surpassent pas 5° , les différences de leurs cosinns à l'unité seront moindres que 0,004; la force totale perdne à chaque sommet du polygone, pourra être regardée comme nulle, sans erreur sensible, et la tension du cordon AB , ne différera presque pas de l'effort Q multiplié par le nombre des chevaux.

Observons qu'une pareille disposition des traits ne permet pas à tous les chevaux de tirer sous l'angle le plus favorable au déploiement de leurs forces; car si les cordons BC , $B'C'$, $B''C'''$ font cet angle avec l'horizon, $B''C'''$ ne peut le faire et réciproquement.

41. Considérons maintenant ce qui arrive sur un terrain accidenté, par exemple, dans un champ labouré en larges sillons dont la direction n'est pas celle des deux files de chevaux. Dès qu'un ou plusieurs chevaux sont parvenus sur le plan DE (fig. 4), le trait du dernier d'entre eux se rapproche de D , et son point d'attache sur le trait suivant se rapproche du plan DF , tant que le permet la longueur du cordon BC , par exemple. Mais il arrive bientôt un moment où ce cordon devient perpendiculaire à DF ; le point B ne peut plus se rapprocher de DF , et les deux traits qui passent par ce point, font un angle ABt aussitôt après. Alors, il est impossible au cheval C d'échapper à l'action de celui qui le précède, ou plutôt il est obligé de supporter une des composantes de la tension t que les efforts de tous les chevaux

qui le précèdent, communiquent au cordon Bt . Soit q cette composante, nous aurons $q = t \frac{\sin tBt'}{\sin CBt'}$.

Comme la valeur de $t \sin tBt'$ dépend de l'angle tBt' et que cet angle sera d'autant plus grand que EDF se trouvera plus petit, on voit que dans certains terrains, des chevaux, ceux de derrière surtout, pourront être abattus, si les traits sont attachés les uns sur les autres. Dans tous les cas, il résulte toujours de ce mode d'attelage, qu'une grande partie de la force de chaque cheval, employée à résister à la pression q , est tout-à-fait perdue pour le tirage, et cela dans le moment même où ce tirage est le plus difficile, puisque les chevaux qui se trouvent sur le plan DE n'agissent plus directement sur la voiture.

Ce que nous venons de dire pour le cas d'une crête EDF , s'applique aussi à celui où les chevaux sont répartis sur les deux pentes d'un ravin; seulement la pression supportée par le cheval C est alors dirigée en sens contraire, c'est-à-dire de bas en haut; il peut en résulter que ce cheval soit soulevé et par suite renversé.

42. Il arrive très-souvent, sur les plus belles routes, comme dans les mauvais chemins et dans les terrains accidentés, que les chevaux ne forment pas des files parfaitement droites. Le polygone funiculaire des traits n'a donc pas, en général, tous ses côtés dans un même plan. Mais, comme les trois cordons qui aboutissent au même sommet de ce polygone, se mettent toujours d'eux-mêmes dans un seul plan, le calcul que nous avons fait pour la figure 4, est néanmoins encore applicable à la détermination des tensions.

Il est à observer que, dans de telles circonstances, une seule des longes de trait BC du même cheval, se trouve tendue; elle agit pour déplacer le collier, par traction, tandis que de l'autre côté s'opère une pression qui la seconde puissamment. Les conducteurs doivent donc principalement s'occuper de faire marcher les chevaux rigoureusement en files droites.

INFLUENCE DE LA LONGUEUR DES TRAITS.

43. Nous terminerons cette section par l'examen de l'influence que peut avoir la longueur des traits, sur la partie de l'effort d'un cheval qui se trouve perdue pour le tirage.

Afin d'isoler cette influence de toute autre, nous ferons ab-

traction des longues de trait, BC , $B'C'$, etc. (fig. 5) que nous avons considérées dans les recherches précédentes; c'est-à-dire que les traits seront supposés immédiatement attachés aux colliers. De cette hypothèse résultera que l'angle de deux traits consécutifs sera plus grand qu'il n'est réellement; mais cela ne saurait empêcher d'être applicables, les conséquences auxquelles nous parviendrons, attendu que l'augmentation de l'angle se trouverait à-peu-près la même dans toutes les circonstances du tirage.

Supposons les files de chevaux placées de manière que tous les traits soient parallèles au plan vertical qui coupe le terrain suivant la ligne brisée ABC (fig. 5). Au moment où un des chevaux arrivera au sommet B de l'angle ABC , les points d'attache de ses traits à son collier, se projetteront en T sur le plan; ceux du cheval qui le précède, se projetteront en T' , et la distance $T'P$ de ce point T' à BC différera très-peu de TB distance de T à AB . TT' sera la projection des traits du cheval qui se trouve sur BC , ou la droite suivant laquelle les chevaux qui précèdent T , exercent un effort Q . Si donc nous admettons que le cheval T ait ses traits dans la direction DTE parallèle à AB , $Q \cos T'TD$ sera l'effort exercé suivant DE , par les chevaux qui se trouvent sur BC , et $Q \sin T'TD$ sera l'effort exercé suivant TB . Cette dernière force agira de bas en haut ou de haut en bas, selon que l'angle ABC sera rentrant (fig. 5) ou saillant (fig. 6); elle tendra à soulever le cheval T ou à l'abattre, et par conséquent, il importe de la rendre aussi faible qu'il est possible. Voyons donc si elle se trouverait diminuée d'une manière notable, par une augmentation dans la longueur des traits TT' .

A cet effet, nous nommerons ϕ l'angle CBF que forme BC avec le prolongement de AB , et par le point T , nous mènerons TG parallèlement à BC . L'angle GTD sera égal à ϕ et nous aurons $T'TD = \phi \pm T'TG$, le signe $+$ répondant au cas de l'angle rentrant formé par le terrain, et le signe $-$ au cas de l'angle saillant. Or, il est clair que l'angle $T'TG$ n'est pas nécessairement constant comme ϕ , et qu'on peut le diminuer ou l'augmenter en allongeant ou en raccourcissant les traits TT' . Par conséquent, il faut, pour le cas de la figure 5, employer des traits fort longs, et pour celui de la figure 6, rendre les traits aussi courts qu'il est possible.

Comme les routes et les champs présentent alternativement des angles rentrants et saillans, on devrait donc faire varier la longueur des traits pendant la marche, pour atténuer dans tous les cas la perte de force $Q \sin T'TD$. Ce moyen étant impraticable, il vaut mieux chercher à diminuer l'angle $T'TD$ de la figure 5 que celui de la figure 6; car le premier est toujours plus grand que le second, et d'ailleurs la force $Q \sin T'TD$ qui se consomme sur le cheval T , est plus incommode pour cet animal, quand elle tend à le soulever, que dans le cas où elle le presse contre le sol. Ainsi, les traits les plus longs sont en général plus favorables au tirage que les autres. •

Mais d'un autre côté, en allongeant les traits, on augmenterait la longueur des files de chevaux et celle des colonnes d'artillerie. Il nous reste donc à examiner si ce grave inconvénient serait suffisamment compensé par la diminution de la force $Q \sin T'TD$.

L'angle $T'TG$ a pour sinus, $\frac{T'G}{TT}$; $T'G = T'P - TQ$; TQ , perpendiculaire à BC , vaut $TB \sin TBQ = TB \cos \varphi$, et nous pouvons, sans erreur sensible, remplacer, dans cette expression, TB par $T'P$. Si donc nous nommons h cette distance de T' à BC , et l la longueur des traits TT' , nous aurons

$$\sin T'TG = h \frac{1 - \cos \varphi}{l} = \frac{h \sin \text{verse } \varphi}{l}.$$

Or, la valeur de l est fixée à $2^m,40$ environ, et la hauteur moyenne des billots des colliers ou TB ou h est de $1^m,20$. Conséquemment, $\sin T'TG = \frac{120}{240} \sin \text{verse } \varphi$. Ainsi, l'angle $T'TG$ augmente en même temps que φ . Comme des pentes inclinées à plus de 30° sont impraticables pour des chevaux (4), la limite des augmentations de $T'TG$ relatives au cas de $l = 2^m,40$, sera donnée par l'équation $\sin T'TG = \frac{120}{240} \sin \text{verse } 30^\circ$; le maximum de cet angle se trouvera de $3^\circ 48'$, celui de $T'TD$, de $33^\circ 48'$, et celui de la force consommée sur le cheval T , de $Q \sin 33^\circ 48'$. La limite inférieure de cette même force serait $Q \sin 30^\circ$; mais pour l'atteindre, il faudrait rendre les traits TT' parallèles à BC , ce qui exigerait que l fût infiniment grand. On ne peut donc pas, en augmentant, même considérablement, la longueur des traits, diminuer la perte de force, de

la quantité

$$Q (\sin 33^{\circ} 48' - \sin 30^{\circ}) = Q \times 0,05 = \frac{Q}{20}$$

à très-peu-près. Cette fraction peut, à cause de $\sin 30^{\circ} = \frac{1}{2}$, se mettre sous la forme

$$\frac{Q}{20} \times \frac{\sin 30^{\circ}}{1/2} = \frac{Q \sin 30^{\circ}}{10};$$

nous en concluons qu'il est impossible, quel que soit l'allongement des traits, de diminuer la perte de force, du dixième de sa limite inférieure. Nous pouvons donc regarder comme dénuée d'importance, la faible diminution que donnerait le plus grand allongement praticable.

SECTION QUATRIÈME.

DES ROUES.

Il y a des conditions à remplir pour rendre le tirage le plus facile possible, et, parmi ces conditions, il en est qui, ne concernant point la composition de la voiture, sont seulement relatives aux roues. Celles-là doivent être établies dès à présent; car les roues font partie de toutes les voitures; elles se comportent absolument de la même manière, soit qu'il y ait deux trains, soit qu'il n'y en ait qu'un, et les considérer isolément, c'est continuer d'étudier le tirage, abstraction faite des formes de la machine sur laquelle il est exercé.

ROULEMENT SUR UN SOL DUR ET HORIZONTAL.

44. Pour déterminer plus aisément les résistances qui s'opposent au mouvement des roues, nous supposerons d'abord qu'elles soient placées sur un terrain dur, uni et horizontal. Si dans cette circonstance, elles étaient fixées aux fusées de l'essieu, la puissance qui devrait mettre le système en mouvement, n'aurait à vaincre que le frottement de l'une des bandes sur le sol, frottement qui, pour une pression donnée, ne dépendrait que de la nature de ce sol; mais puisque les fusées traversent librement les moyeux, l'essieu, porté en avant, ne fait d'abord que remonter sur les boîtes des roues, et il s'élève ainsi jusqu'à ce que les génératrices de contact aient pris une certaine posi-

tion. Alors commence le mouvement de tout le système, et le frottement qui a lieu sur le terrain, sollicite chaque roue à tourner autour de la fusée, tandis que le frottement de cette fusée contre la boîte s'oppose à la rotation. Pour que la roue tourne effectivement, il faut donc que le moment du premier frottement dont le bras de levier est le rayon de la circonférence extérieure, l'emporte sur le moment du second qui n'a pour bras de levier que le rayon moyen de la paroi conique de la boîte. Comme cette condition est toujours remplie, excepté sur la glace, les roues d'une voiture ont deux vitesses : l'une de rotation qui leur est particulière, l'autre de translation qui est commune à toutes les parties du système. De là résulte que le frottement de glissement sur le terrain, se change en un frottement de roulement. Or, ce frottement de seconde espèce peut être négligé, quand le sol est très-dur et très-uni, comme nous le supposons ici : les expériences de *Coulomb* montrent en effet que pour un cylindre de bois de gaïac, ayant 6 pouces seulement de diamètre et roulant sur des tringles de chêne très-unies, le frottement n'est que les six millièmes de la pression, et en outre que les frottements de seconde espèce, qui sont en raison directe des pressions, comme ceux de la première espèce, suivent la raison inverse des diamètres des cylindres.

Nous n'aurons donc à considérer que le frottement de l'essieu contre la boîte de roue, et les résistances qui proviennent des obstacles du terrain. Voyons d'abord quel rapport entre la charge de l'essieu et la puissance résulte du frottement.

FROTTEMENT DE L'ESSIEU.

45. Nous supposons que les forces qui sollicitent l'essieu, agissent dans le plan du cercle de la roue. Cela n'est pas mathématiquement vrai, puisque la fusée est conique; mais comme l'angle formé par l'axe et la génératrice du cône, n'est pas grand, notre hypothèse n'aura pas d'influence sensible sur les résultats auxquels nous parviendrons.

Soient *OA* le rayon de la circonférence extérieure de la roue (fig. 7), et *OB* le rayon moyen de la fusée, qui diffère assez peu de celui de la boîte pour qu'on puisse le substituer à ce dernier. Si l'on charge l'essieu d'un poids *P*, la roue sera pressée contre

le terrain selon la verticale OA ; la fusée sera pressée contre la boîte selon la verticale OB et aucun mouvement n'aura lieu. Appliquons, dans une direction autre que la verticale et quelque d'ailleurs, une force Q , par l'effet de laquelle le mouvement soit sur le point de naître. Le contact de la fusée et de la boîte se fera sur la génératrice passant par un certain point M , point nécessairement tel que le frottement qui résulte de la pression exercée selon la normale OM , par la résultante des forces P , Q , et qui agit selon la tangente MT , de M vers T , se trouve vaincu par la portion de la même résultante dirigée selon MT et agissant de M vers T' . Or, cela exige que cette résultante S passe par M et au-dessus de la normale OM ; par conséquent, quels qu'aient été primitivement les points d'application des forces P , Q , nous devons regarder ces forces comme transportées au point M , parallèlement à leurs directions, pour chercher les conditions de l'équilibre qui a lieu entre elles et le frottement de l'essieu, quand le mouvement est sur le point de naître.

On sait que la résultante S des forces P , Q doit faire avec la normale OM , un angle égal à celui du frottement et que la résistance causée par ce frottement a pour valeur $f'S$, f' étant égale à $\frac{f}{\sqrt{1+f^2}}$, f étant le rapport du frottement à la pression.

Il ne nous reste donc plus, pour pouvoir appliquer le principe des vitesses virtuelles, qu'à examiner ce qui arrivera, si la roue chemine d'une quantité infiniment petite.

Le point M de l'essieu parcourra sur l'horizontale MH , une longueur l ; le point A de la jante décrira autour de l'essieu un arc de cercle dont le développement sera l ; par suite le point M de la boîte fera sur la fusée un chemin $\frac{lr}{R}$, R étant le rayon de la roue, et r le rayon moyen de la fusée. Si φ est l'angle que fait la puissance Q avec l'horizontale MH , la projection de l sur la direction de cette puissance sera $l \cos \varphi$; la projection de la même longueur sur la verticale MP sera nulle, et le chemin circulaire $\frac{lr}{R}$ se confondra avec sa projection sur la tangente MT . Nous aurons d'après cela, pour le moment où le mouvement sera sur le point de naître,

c'est-à-dire pour l'équilibre,

$$Q \times l \cos \varphi = f' S \times \frac{lr}{R} \quad \text{ou simplement} \quad RQ \cos \varphi = f' r S. \quad (I)$$

Mais S étant la résultante des forces P , Q ,

$$S^2 = P^2 + Q^2 + 2PQ \cos(P, Q), \quad (II)$$

et comme $\cos(P, Q) = \cos(100^\circ + \varphi) = -\sin \varphi$,

$$S^2 = P^2 + Q^2 - 2PQ \sin \varphi. \quad (III)$$

Éliminant S entre les équations (I) et (III), on a, toute réduction faite,

$$Q = f' r P \frac{-rf' \sin \varphi + \cos \varphi \sqrt{R^2 - r^2 f'^2}}{R^2 \cos^2 \varphi - r^2 f'^2}. \quad (IV)$$

Cherchant la valeur de φ qui rend Q un minimum, on trouve

$$\tan \varphi = \frac{rf'}{\sqrt{R^2 - r^2 f'^2}} \quad \text{et} \quad Q = \frac{f' r P}{R}. \quad (V)$$

De là résulte que pour donner à la puissance Q le plus d'avantage possible, quand il s'agit de mettre en équilibre le système de deux roues et d'un essieu chargé, il faut diriger cette puissance de manière qu'elle fasse avec l'horizon, un angle dont la tangente soit $\frac{rf'}{\sqrt{R^2 - r^2 f'^2}}$. Cet angle est donc généralement fort petit et

peu différent de celui qui a pour tangente $\frac{f' r}{R}$.

Si l'on rendait horizontale la direction de Q , φ serait nul, on aurait $\sin \varphi = 0$, $\cos \varphi = 1$, et l'équation (IV) donnerait

$$Q = \frac{f' r P}{\sqrt{R^2 - r^2 f'^2}},$$

valeur qui ne surpasse pas d'une quantité notable celle (V) qui convient au maximum d'effet.

Il est bon de remarquer encore que sur un terrain horizontal, dur et uni, c'est-à-dire dans le cas où la seule résistance à vaincre est le frottement de l'essieu, les valeurs minima de la puissance Q sont, d'après l'équation (V), en raison directe des rayons des fusées et en raison inverse des rayons des roues; de sorte que si l'on réduisait à moitié le rayon d'un essieu, ou qu'on doublât celui d'une roue, l'effort qu'il faudrait exercer

pour que le mouvement fût sur le point de naître, serait seulement moitié de ce qu'il était d'abord.

Du reste il est clair que si, au lieu de produire l'équilibre, on veut conserver à une voiture une vitesse déterminée, il faudra, dans les circonstances précitées, qu'il y ait constamment équilibre entre les trois forces P , Q , $f'S$, f' étant relatif aux surfaces en mouvement, et que par conséquent, Q soit déterminée par l'équation (V). La valeur de cette puissance motrice sera d'ailleurs toujours la même, quelle que soit la rapidité du mouvement, puisque le rapport du frottement à la pression est indépendant de la vitesse.

Enfin, si e est l'espace horizontal parcouru par la roue, pendant un temps donné, $e \frac{r}{R}$ sera l'arc parcouru sur la boîte, par le point d'application de la résistance $f'S$, et le travail mécanique de l'attelage se trouvera exprimé par

$$f'S \frac{er}{R} \text{ ou d'après (I) par } Qe \cos \varphi.$$

46. Supposons maintenant, pour faire une application de nos formules, que, conformément à ce qui existe dans les voitures de la nouvelle artillerie de campagne, l'essieu soit en fer, la boîte en cuivre, le rayon de la roue de $0^m,730$ et le rayon moyen de la fusée de $0^m,030$. Le rapport du frottement à la pression, sera $0,24$, s'il n'y a pas d'enduit, et seulement $0,1$ si l'on emploie un enduit de suif et qu'on le renouvelle souvent. Comme dans l'artillerie les enduits ne sont pas renouvelés aussi souvent qu'ils l'ont été dans les expériences de *Coulomb*, nous adopterons un rapport intermédiaire entre les deux précédents, et nous poserons $f = 0,143$ ou environ $\frac{1}{7}$. Alors f' sera $\frac{1/7}{\sqrt{1 + 1/49}} = \frac{1}{\sqrt{50}}$, quantité qui diffère trop peu de $\frac{1}{7}$ pour que nous ne regardions pas f' comme égale à f . Il s'ensuivra

$$\tan \varphi = \frac{0,143 \times 30}{\sqrt{(730)^2 - (0,143 \times 30)^2}} = \frac{1}{172},$$

et l'angle φ sous lequel la force Q doit agir, pour produire le plus grand effet possible, sera de $20'$ environ. On trouvera aussi par l'équation (V), que $Q = \frac{P \times 0,143 \times 30}{730} = \frac{P}{170}$.

Pour les voitures les plus chargées de l'équipage de siège, où le rayon des roues est de 0^m,760 et celui des fusées de 0^m,37, $Q = \frac{1}{143} P$.

Pour les avant-trains des voitures du système de *Gribeauval*, dont les roues n'ont que 0^m,569 de rayon, $Q = \frac{1}{143} P$, et pour les arrière-trains des mêmes voitures, dont les roues ont 0^m,785 de rayon, $Q = \frac{1}{113} P$.

Par conséquent, l'effort moyen qu'exige le frottement des fusées sur les boîtes de roues, dans une quelconque des voitures de l'artillerie, est $\frac{1}{143} P$. Mais ce résultat n'est applicable qu'aux voitures qui roulent sur un chemin très-dur et très-uni, tel qu'un chemin de fer bien exécuté; sur une route ordinaire, même lorsqu'elle est parfaitement entretenue, l'effort $\frac{1}{143} P$ ne suffit plus à beaucoup près pour maintenir en mouvement une voiture qui, avec sa charge, forme un poids P , et cela montre que la principale cause de la difficulté du tirage n'est pas alors le frottement des fusées sur les boîtes de roues. Dans un tel cas, ce frottement peut même être négligé comme celui de la seconde espèce. En effet, si nous remplaçons P dans l'équation $Q = \frac{1}{143} P$, par 420^{kg}, maximum du poids que doit traîner chacun des chevaux attelés aux voitures de l'artillerie de campagne, nous trouverons que l'effort nécessaire pour vaincre, sur un chemin de fer, la résistance provenant du frottement, est seulement 2^{kg},67; de sorte qu'alors les chevaux de l'artillerie n'auraient, pour ainsi dire, qu'à marcher.

Si la nature du chemin rend le tirage difficile, l'effort Q , nécessaire pour vaincre la résultante de toutes les résistances, est toujours moindre que P , et d'après l'équation (III), S est toujours plus petite que $P + Q$. Mais, pour nous mettre dans les circonstances les plus défavorables, supposons $Q = P$ et $S = 2P$. La résistance $\frac{f' S r}{R}$ due au frottement dans le cas du mouvement, deviendra $\frac{2 f' r P}{R}$. Substituant pour P le poids 420^{kg}

et pour f', r, R les valeurs précédemment indiquées, nous trouverons 4^{kg},93. Ainsi, un cheval qui serait obligé d'exercer un effort de 420^{kg}, n'aurait jamais à vaincre un frottement de 5^{kg}.

Le frottement ne mériterait pas plus d'être pris en considé-

ration, quand bien même on donnerait à r une longueur qui excédât de moitié celle qu'il a ordinairement dans les essieux en fer, si en même temps on maintenait R entre $0^m,730$ et $0^m,780$. Des applications de l'équation (V) montreraient en effet que l'augmentation de puissance motrice qui en résulterait sur les belles routes, serait très-faible, par rapport à l'effort de traction, et beaucoup plus faible encore dans les mauvais chemins.

Ainsi, nous devons admettre que, *pour les circonstances habituelles du tirage, le frottement des essieux sur les boîtes de roue peut être négligé*, quand ces essieux ne sont pas en bois.

De là résulte qu'il n'est pas nécessaire de considérer celle des deux composantes de S qui agit selon la tangente MT' , et que le point d'application des forces P, Q peut toujours être supposé sur l'axe même de l'essieu.

ROULEMENT SUR UN CHEMIN A SURFACE MOLLE.

47. Il suffit qu'une voiture roule sur un chemin ordinaire dont la surface soit légèrement détrempée par la pluie ou seulement recouverte d'une couche de poussière, pour qu'on ne puisse plus négliger le frottement de deuxième espèce (44). Nous avons donc à donner pour ce cas, la valeur de la puissance qui, appliquée à l'essieu, fait équilibre au frottement de cet essieu et à celui du sol réunis.

M. Poncelet conclut des expériences de *Coulomb*, qu'en désignant respectivement par p, P, R, A le poids d'une roue, la charge, le rayon, et un coefficient relatif à la nature du sol, on a pour le frottement de roulement, $A \frac{P+p}{R}$. Si donc nous appliquons le principe des vitesses virtuelles, en conservant la notation du n° 44 et en considérant à la fois les deux frottements, nous obtiendrons la relation

$$Ql \cos \varphi = l \frac{r}{R} \sqrt{(P - Q \sin \varphi)^2 + (Q \cos \varphi)^2} + l \frac{A}{R} (P + p - Q \sin \varphi), \quad (1)$$

puisque la pression sur le sol $P + p$ devient, à cause de l'inclinaison des traits, $P + p - Q \sin \varphi$. Mais la valeur de Q que nous déduirions de cette équation, serait assez compliquée. Elle devient plus simple, si l'on fait usage d'un théorème de

M. Poncelet, d'après lequel le radical a pour valeur suffisamment approchée $\alpha(P - Q \sin \varphi) + \beta Q \cos \varphi$, α et β étant des coefficients numériques que détermine le rapport de P à Q , rapport à-peu-près donné par les expériences déjà faites sur les voitures (16); cela change effectivement l'équation (I) en cette autre

$$Q \cos \varphi = \frac{r_0}{R} (\alpha P - \alpha Q \sin \varphi + \beta Q \cos \varphi) + \frac{A}{R} (P + p - Q \sin \varphi). \quad (\text{II})$$

On en tire

$$Q = \frac{rf' \alpha P + A(P + p)}{\cos \varphi (R - rf' \beta) + \sin \varphi (A + rf' \alpha)}. \quad (\text{III})$$

Cette valeur fait voir d'abord que l'effort Q est moindre dans le cas où sa direction s'élève au-dessus de l'horizontale, que dans tout autre cas, puisque pour $\varphi = 0$, le dénominateur se réduit à un seul terme, et que pour $\varphi < 0$, le deuxième terme est négatif.

Quant à la condition du minimum de Q , elle est $\tan \varphi = \frac{A}{R}$, parce que $rf' \alpha$, $rf' \beta$ toujours fort petits, peuvent être négligés. Cette valeur de $\tan \varphi$ signifie que l'angle de la traction exercée sur l'essieu, doit être d'autant plus ouvert que la résistance du sol est plus forte, et le rayon de la roue plus petit.

L'équation (III) montre encore qu'il est avantageux d'avoir, dans les chemins difficiles, des roues d'un grand rayon, sans dépasser toutefois une limite au-delà de laquelle le poids p de ces roues devenant trop fort, annulerait au moins l'effet dû à l'augmentation du rayon.

Enfin, la même équation rend évidente l'erreur qu'on a commise jusqu'à présent, en employant une expression de la forme

$\frac{r}{R} M$, pour représenter l'effort de traction qu'exige une voiture, M étant une fonction de P , p , φ .

On aurait une valeur de Q suffisamment approchée, en prenant simplement

$$Q = \frac{rf' \alpha P + A(P + p)}{R \cos \varphi + A \sin \varphi}. \quad (\text{IV})$$

Mais, pour faire usage de cette valeur, il faut connaître le coefficient A . On le déterminera au moyen d'une expérience et de

la formule

$$A = \frac{RQ \cos \varphi - r f' a P}{P + p - Q \sin \varphi},$$

que fournit l'équation (IV). L'expérience donnera l'effort Q appliqué à l'axe de l'essieu, pour entretenir le mouvement uniforme d'un système quelconque, composé d'un essieu chargé et soutenu par deux roues, sur un chemin de même nature que celui où doivent rouler les voitures.

OBSTACLES FIXES.

48. Il faut maintenant considérer les obstacles que peut présenter le terrain, et chercher la relation qui doit exister entre la puissance Q et la charge P de l'essieu, pour que le mouvement soit sur le point de naître, puis celle qu'exige la conservation de la vitesse.

Nous supposons d'abord qu'une roue chargée, roulant sur un sol horizontal, soit arrêtée contre un obstacle fixe MN . Il s'agira de trouver quelle doit être la puissance Q , pour que cette roue soit sur le point de s'élever. A cet effet, nous représenterons encore par R le rayon de la roue, par P la pression sur le terrain au point A , et par Q la puissance appliquée à l'essieu, selon une direction quelconque OI ; h sera la hauteur de l'obstacle MN . Comme la roue et la charge doivent tourner autour du point M , pour que l'obstacle soit surmonté, les forces P , Q se trouvent dans les mêmes circonstances que si elles agissaient aux extrémités d'un levier coudé AMO dont M fût le point d'appui. L'équilibre exige donc que $Q \times MI = P \times MK$, MI et MK étant des perpendiculaires abaissées du point d'appui sur les directions des forces. Or, $MI = R \sin MOI$, et parce que $OK = R - h$, $MK = \sqrt{R^2 - (R - h)^2} = \sqrt{2Rh - h^2}$.

Par conséquent,

$$Q = P \frac{\sqrt{2Rh - h^2}}{R \sin MOI}, \quad (I)$$

ou

$$\frac{P}{Q} = \frac{R \sin MOI}{\sqrt{2Rh - h^2}}. \quad (II)$$

Le rapport $\frac{P}{Q}$, c'est-à-dire celui du poids à soulever et de l'effort qu'exige l'obstacle, est ordinairement nommé *puissance de la roue*. Comme cette puissance est à son maximum quand l'angle MOI est droit, ou quand OI se confond avec OI' perpendiculaire à OM , et comme alors l'angle $I'OH$ formé par OI' et l'horizontale OH , est égal à MOA dont le sinus verse est $\frac{h}{R}$, on voit que le cas le plus avantageux à la force Q , est celui où elle fait avec l'horizon, un angle dont le sinus verse est le quotient de la hauteur de l'obstacle divisé par le rayon de la roue. Mais, pour peu que la hauteur h soit considérable, il est impossible de diriger Q selon la perpendiculaire à OM ; car la direction de cette force est nécessairement toujours très-voisine de l'horizontale OH . Si elle se confondait avec cette droite, $R \sin MOI$ deviendrait $R \sin MOI'' = MI'' = R - h$ et l'on aurait

$$\frac{P}{Q} = \frac{R - h}{\sqrt{2Rh - h^2}}, \quad (III)$$

valeur toujours moindre que celle du maximum qui est donnée par l'équation

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{\sqrt{2Rh - h^2}}. \quad (IV)$$

Toutefois, elle en diffère très-peu dans le cas où la hauteur de l'obstacle est très-petite. Alors, on peut négliger sans erreur sensible, la quantité $\frac{h}{R}$ dans le numérateur de l'équation (III), la quantité $\frac{h^2}{R}$ dans les dénominateurs des équations (III) et (IV), et ces deux formules deviennent

$$\frac{P}{Q} = \frac{\sqrt{R}}{\sqrt{2h}}. \quad (V)$$

Voilà pourquoi l'on dit ordinairement que les puissances de deux roues sont entre elles comme les racines carrées des rayons. Mais ce principe n'ayant plus lieu, lorsque la hauteur de l'obstacle est comparable aux rayons des roues, ne peut être employé

dans les constructions de l'artillerie dont les voitures ont souvent à surmonter des ressauts considérables.

On déduit de l'équation (II) un autre principe qui est applicable aux obstacles de toutes hauteurs : la valeur de h fait voir en effet que deux roues de rayons inégaux et pressant le sol également, n'exigent pas plus d'effort l'une que l'autre, pour surmonter des obstacles dont le rapport est celui des rayons. Ainsi, une roue dont le rayon est double de celui d'une autre, peut, avec la même force motrice, surmonter un obstacle ayant une hauteur double de celle que franchit cette autre.

49. Si l'on considère des roues inégales arrêtées contre des obstacles de même hauteur, les plus grandes auront l'avantage ; mais la diminution qui en résultera dans la valeur de Q , sera d'autant moindre pour un accroissement donné de R , que la valeur de ce rayon sera déjà plus grande et celle de h plus petite. C'est ce dont il est facile de se convaincre, en discutant l'influence des valeurs de R et de h sur le rapport $\frac{P}{Q}$ que donne l'équation (II) ou l'équation (III). Le tableau suivant présente des applications de cette dernière équation : P y est supposé de 357^{kg}, poids moyen d'une roue et de sa charge dans les voitures d'artillerie, et les hauteurs ou diamètres des roues qui s'y trouvent inscrits, sont jusqu'à 4^m 10^m, celles du système de Gribeauval.

HAUTEUR ou diamètre des roues.	DIFFÉRENCE entre deux hauteurs consé- cutives.	PUISSANCE MOTRICE.					
		OBSTACLE de 6 pouces de hauteur.		OBSTACLE de 4 pouces de hauteur.		OBSTACLE de 2 pouces de hauteur.	
		EFFORT.	DIFFÉRENCE entre deux efforts consécutifs.	EFFORT.	DIFFÉRENCE entre deux efforts consécutifs.	EFFORT.	DIFFÉRENCE entre deux efforts consécutifs.
pi pou	pou.	kg.		kg.		kg.	
2 10	4	420	1/10	300	1/13	190	1/16
3 2	4	380	1/12	277	1/14,6	178	1/17
3 6	4	349	1/14	258	1/17	168	1/18,5
3 10	4	325	1/16	243	1/19	159	1/23
4 2	4	305	1/18	230	1/21	152	1/22
4 6	4	288	1/20	219	1/22	145	1/24
4 10	4	274	1/21	209	1/26	139	1/28
5 2	4	261	1/24	201	1/25	134	1/33,5
5 6		250		193		130	

Ce tableau fait voir que passé 4^{pi}, des augmentations très-notables dans le diamètre des roues, ne produisent pas de grandes différences entre les efforts.

INFLUENCE DU RAYON DE LA ROUE SUR LA FATIGUE.

50. Bien que l'influence du rayon des roues sur l'effort qu'exige un obstacle, s'affaiblisse à mesure que cet obstacle s'abaisse et que la hauteur des roues augmente, elle existe pourtant cette influence; elle est même telle qu'avec des roues d'un certain diamètre, un attelage ne pourrait point faire franchir tel obstacle qu'il surmonterait avec des roues d'une plus grande hauteur.

Quant au travail du moteur, il est tout-à-fait indépendant du bras de levier que donne la roue: ce travail est en effet exprimé par Ph , puisqu'il s'agit d'élever le poids P à la hauteur h . Un obstacle cause donc toujours la même dépense de quantité d'action, quelle que soit la hauteur des roues; de sorte que si le moteur était inanimé, il serait indifférent d'employer telle roue ou telle

autre. Mais lorsqu'il s'agit d'un cheval, la roue la plus grande permet d'effectuer le travail avec une moindre fatigue, quoiqu'elle ne diminue en rien la dépense de quantité d'action; car il est plus facile à un moteur animé d'exercer un effort médiocre pendant un certain temps, que de faire un grand effort pendant un temps plus court. Quant à l'avantage du premier mode de travail sur le second, on ne saurait le déduire de la théorie, puisqu'il résulte uniquement de l'organisation du moteur. Tout ce qu'on en peut dire, c'est qu'il se trouve d'autant plus grand, que l'obstacle à surmonter est plus saillant: les grandes roues ne facilitent donc bien sensiblement le travail, que dans les chemins qui présentent des ressauts très-prononcés.

INFLUENCE DU RAYON DES ROUES SUR LES PERTES DE FORCE VIVE.

51. Nous n'avons jusqu'ici considéré que le cas où la roue part du repos pour s'élever sur l'obstacle fixe; mais il arrive ordinairement qu'animée d'une certaine vitesse, elle heurte contre un tel obstacle. Dans ce cas, toute la masse du système s'élève à une certaine hauteur, en vertu du choc et de la vitesse acquise, et le moteur n'a pas besoin d'exercer un effort aussi grand que celui qui résulte de la formule (I) du n° 48. Les obstacles que présente une route ordinaire, ont même toujours assez peu de hauteur, pour que les roues les surmontent en perdant seulement une partie de leur vitesse, et lorsque ces obstacles sont saillies, elles acquièrent en retombant une vitesse précisément égale à celle qui a été détruite par l'ascension; de sorte qu'alors les quantités d'action restituées compensent celles qui sont consommées, si les restitutions se font dans le sens du mouvement. Le moteur n'aurait donc dans ces hypothèses, qu'à réparer les pertes de force vive causées par les chocs. Ces pertes sont faibles sur un pavé bien entretenu, lorsque la vitesse est peu considérable, et par conséquent, dans ce cas, le tirage est facile sur une telle route. Mais, quand le pavé est dégradé ou quand la voiture parcourt un terrain raboteux, les vitesses que gagnent les roues en retombant, sont très-obliques à la direction du mouvement; souvent même elles sont normales au sol, et les chocs les détruisent presque entièrement. L'effet de ces chocs est donc d'anéantir en grande partie le mouvement de translation, et chaque fois

qu'il s'en produit un, le moteur se retronve à-peu-près dans les mêmes circonstances qu'au moment où il a fait sortir la voiture du repos. Aussi, le tirage est-il alors très-difficile, quelque faible que soit la vitesse.

Nous voyons par là que la dépense de quantité d'action qu'exige le roulage sur un terrain raboteux, provient presque en totalité des pertes de force vive occasionnées par les brusques changements de vitesse, et que dans ce cas, le problème du tirage consiste à diminuer la somme de ces pertes autant qu'il est possible. Nous allons examiner si l'on peut y parvenir en augmentant le rayon des roues.

52. Supposons que le terrain forme un plan horizontal Aa parfaitement dur (fig. 9) sur lequel on ait fixé des obstacles saillans MN ou creusé des cavités dont les parois ne soient point susceptibles de se déformer, par suite des chocs; et comme il serait impossible d'appliquer le calcul, soit au cas général, où les obstacles que heurtent les roues auraient des hauteurs quelconques et où les chocs ne seraient pas simultanés, soit à un système semblable à celui des voitures d'artillerie qui n'est point rigide, considérons un système tout particulier, composé de deux essieux O, o invariablement liés par deux brancards Oo , de quatre roues de mêmes diamètres et d'un chargement quelconque; admettons que ces quatre roues heurtent au même instant chacune un obstacle MN dont la hauteur soit h , et cherchons la perte de force vive que le choc fera éprouver au système, les roues exceptées.

A cet effet, nous désignerons par μ un des éléments infiniment petits de la masse formée par le chargement, les brancards et les essieux, et nous regarderons la première de ces trois parties comme invariablement liée aux deux autres. D'après cela, μ aura, par rapport au plan Oo des essieux, une position qui ne pourra varier pendant toute la durée du mouvement; de sorte que si ce plan ne faisait que se monvoir horizontalement, le point K , où se trouve concentrée la masse μ parcourrait une horizontale KE .

Mais aussitôt que les quatre roues heurteront contre les obstacles MN , mn , leurs centres s'élèveront en décrivant des arcs de cercles autour des points M, m ; ces arcs seront égaux et

parallèles, puisque $MN = mn$; le plan Oo s'élèvera parallèlement à sa position primitive, et le point K devra décrire un arc de cercle égal et parallèle à ceux des points O, o .

Soit KK' cet arc, KT sa tangente en K et V la vitesse du système immédiatement avant le choc; $V \sin EKT$ sera la vitesse selon la perpendiculaire à KT , et l'on trouvera $\mu V^2 \sin^2 EKT$ pour la force vive que le choc aura fait perdre à la masse μ .

Or, si l'on mène l'horizontale OD et la tangente OS , l'angle DOS égalera l'angle EKT et l'angle AOM ; par conséquent,

$$\sin EKT = \sin AOM = \frac{MP}{OM} = \frac{\sqrt{2Rh - h^2}}{R},$$

et la force vive perdue par la masse μ devient

$$\mu V^2 \frac{2Rh - h^2}{R^2}.$$

Comme le facteur qui multiplie μ dans cette expression, est tout-à-fait indépendant de la position du point K , on doit conclure que pour un autre élément μ' , on aurait $\mu' V^2 \frac{2Rh - h^2}{R^2}$, et que la perte totale de force vive supportée par tout le système, les roues exceptées, est

$$MV^2 \frac{2Rh - h^2}{R^2},$$

M représentant la masse formée par le chargement, les brancards et les essieux.

Si en parcourant une longueur l , le système éprouve n chocs, on déterminera de la même manière les différentes pertes de force vive, et la somme de toutes donnera le double de la quantité d'action que le moteur aura dû dépenser pour rétablir la vitesse V : Cette somme sera donc égale à $2Ql$, et si on la divise par $2l$, on aura pour quotient, l'effort Q ou la pression exercée constamment par le moteur dans le trajet. Il faudra pourtant remplacer M par sa valeur $\frac{P}{g}$, si l'on veut obtenir cette pression en kilogrammes.

Supposons que chacun des n chocs ait fait perdre au système la force vive $MV^2 \frac{2Rh - h^2}{R^2}$; l'effort moyen ou constant du moteur

sera, d'après ce qui vient d'être dit,

$$Q = \frac{nPV^2(2Rh - h^2)}{2gR^2}. \quad (I)$$

Cette équation n'est certainement pas applicable, puisqu'il n'existe aucun chemin qui soit de la nature de celui que nous nous sommes donné, et que d'ailleurs nous avons fait abstraction de la force vive perdue par les roues, quantité qui n'est pas toujours négligeable. Mais, si l'équation (I) ne peut jamais donner la valeur numérique de Q , elle fournit du moins le moyen de découvrir l'influence du rayon des roues sur les pertes de force vive d'une voiture, et c'est à quoi nous voulions par-

venir. Qu'on suppose en effet que la fraction $\frac{h}{R}$ soit assez petite pour que son carré puisse être négligé; le facteur $\frac{2Rh - h^2}{R^2}$ deviendra $\frac{2h}{R}$, et l'on aura

$$Q = \frac{nPV^2h}{gR},$$

ce qui montre que l'effort Q est inversement proportionnel au rayon R , dans les circonstances où nous nous sommes placés. Il n'en est pas ainsi, sans doute, dans celles de la pratique; mais on peut bien croire qu'au moins les pertes de force vive causées par les chocs sont d'autant plus faibles, que le rayon des roues est plus grand par rapport à la hauteur des obstacles.

L'équation (I) montre encore que l'effort qui doit être exercé par le moteur, à raison des chocs, est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnel au poids P de tout le système, les roues non comprises. Or, cette conséquence de nos hypothèses doit former un principe applicable à tous les cas de la pratique; car en général, la perte de force vive occasionnée par le choc d'un corps contre un obstacle fixe, est proportionnelle à la masse de ce corps et par conséquent au poids.

Il n'en est pas de même de cette autre conséquence, que l'effort Q est proportionnel au carré de la vitesse V dont la masse M est animée immédiatement avant le choc. Comme cette vitesse peut être supposée, sans erreur sensible, proportionnelle à la

vitesse moyenne avec laquelle s'exécute le transport, on serait conduit à dire que l'effort Q est proportionnel au carré de la vitesse de la voiture. Or, des roues qui se meuvent avec rapidité, évitent une partie des chocs qu'éprouvent celles qui roulent lentement sur la même route; car, non-seulement les premières passent au-dessus de certaines cavités sans en toucher le fond, mais encore elles frappent le sol plus obliquement que les secondes, quand elles retombent de la sommité d'un obstacle saillant. Par conséquent, l'effort Q ne croît pas aussi rapidement que le carré de la vitesse de translation.

53. Malgré l'élasticité naturelle des matières qui entrent dans la construction d'une voiture et dans le chargement, on peut bien admettre, comme nous l'avons fait, que, dans les voitures d'artillerie, la charge soit invariablement liée avec les brancards; mais cette hypothèse ne convient nullement aux voitures dont le chargement est porté dans une caisse suspendue, et par suite, ce qui vient d'être dit sur les pertes de forces vives, ne peut s'appliquer à de telles voitures. En effet, les changemens brusques qui surviennent dans la vitesse des différentes parties du système, ne modifient pas instantanément le mouvement de la caisse: leur premier effet est de changer la tension ou la compression des ressorts qui supportent la charge, et c'est la réaction de ces ressorts qui seule modifie le mouvement de la caisse. Or, ce dernier changement ayant lieu par degrés infiniment petits, ne cause aucune perte de force vive. Si donc l'élasticité des ressorts était parfaite, la perte se réduirait à celle qu'éprouvent les trains de la voiture et serait toujours peu considérable. Bien qu'il n'en soit pas tout-à-fait ainsi, on peut établir en principe que les voitures suspendues sont, pour le moteur, bien plus avantageuses que les autres, dans les terrains durs et cahoteux.

• ROULEMENT SUR UN SOL PÉNÉTRABLE. •

54. Le deuxième genre d'obstacle qu'une roue puisse trouver sur un sol horizontal, est l'ornière qu'elle y creuse, quand il se laisse pénétrer. S'il s'agit alors de l'équilibre entre les résistances et la puissance Q , cette puissance devra être sur le point de faire tourner la roue autour d'une certaine ligne M tracée sur la paroi antérieure de l'ornière (fig. 10) et par conséquent, il faudra,

pour qu'elle soit un minimum, que sa direction OQ fasse un angle droit avec le rayon OM . Mais il est impossible de déterminer à l'avance la position de ce rayon, car celle de la ligne M dépend entièrement de la nature du terrain; on ne saurait donc non plus assigner la direction de la force Q . Tout ce qu'on en peut dire, c'est que l'angle NOL qu'elle fait avec l'horizon, est égal à MOA , et par suite plus petit que l'angle KOA dont le sinus

est $\frac{\sqrt{2Rh - h^2}}{R}$, si h désigne la profondeur de l'ornière, et R le rayon OA de la roue.

Il est pareillement impossible de trouver la valeur de Q en fonction de h et de la pression totale, car elle dépend en outre de la position qu'a la ligne M et des résistances qu'offre l'ornière: au-dessus de M , le terrain résiste à la compression; au-dessous, il adhère aux jantes; et dans toute l'étendue de l'arc AMK , il s'oppose à l'ascension de la roue.

Au reste, le problème de statique que nous examinons, n'a pas une grande importance: sa solution ne pourrait être utile que dans le cas où il s'agirait de voir si avec une puissance motrice connue, on parviendrait à sortir d'une ornière donnée, une voiture en repos.

55. La question offre un bien autre intérêt, si l'on considère une voiture en mouvement; c'est alors le cas où se trouvent souvent les batteries de campagne: il suffit qu'une pluie ait détrempé les terres labourées où elles sont forcées de manœuvrer, pour que le tirage devienne très-pénible; les roues creusent des ornières profondes, et leur poids s'augmente de celui de la croûte de terre qui s'attache aux jantes, et même aux rais.

La valeur de l'effort de traction, dans de telles circonstances, est analogue à celle qui a été établie n° 47, mais elle en diffère, attendu qu'outre le frottement de l'essieu et le frottement de roulement, on doit en considérer un troisième dû à l'adhérence du sol aux parties de la roue qui s'y trouvent engagées. Cette adhérence, presque nulle dans les terrains qui ont peu de consistance, comme le sable fin, ne saurait être négligée dans les terres fortes. La nouvelle résistance qu'elle fait naître, peut être considérée comme agissant tangentiellement à une circonférence de même centre que la roue, ayant pour rayon l'excès de celui R de cette

roue sur la demi-hauteur a de la partie engagée de la jante. Si donc E représente la résistance produite par l'adhérence sur toute la surface en contact avec le sol, le principe des vitesses virtuelles donnera, d'après les notations du n° 47,

$$Q \cos \varphi = \frac{fP}{R} \sqrt{(P - Q \sin \varphi)^2 + (Q \cos \varphi)^2} + \frac{A}{R} (P + p - Q \sin \varphi) + \frac{E}{R} (R - a). \quad (I)$$

On tire de cette relation, en imitant ce qui s'est fait au numéro précité,

$$Q = \frac{rfP + A(P + p) + E(R - a)}{R \cos \varphi + A \sin \varphi}, \quad (II)$$

valeur qui devient un minimum quand $\tan \varphi = \frac{A}{R}$.

Les quantités A , E devront être déterminées par des expériences faites dans des terrains de diverses natures. Une fois qu'elles seront connues, il sera facile de calculer l'inclinaison φ de la traction, qui rend la puissance un minimum, puis l'effort Q qui, appliqué à l'essieu d'une roue, peut conserver l'uniformité du mouvement dans les plus mauvais chemins.

Il importe évidemment de rendre le minimum de la puissance, aussi petit qu'il est possible. Or, on voit sur-le-champ que l'effort diminue avec la profondeur de l'ornière. La largeur des jantes et le rayon de la roue doivent donc être tels que cette profondeur soit peu considérable.

Il est facile de reconnaître que les grandes roues donnent à l'attelage moins de travail que les petites, quand le terrain se laisse pénétrer. En effet, la profondeur de l'ornière est moindre, si la pression se répartit sur un plus grand nombre de points du sol, et il en est ainsi lorsque le rayon de la roue est augmenté, puisque pour un enfoncement donné, l'arc par lequel la roue touche le terrain, a d'autant plus d'étendue, que le rayon est plus grand.

On voit aussi que les jantes larges augmentant la surface de contact, diminuent la profondeur de l'ornière. Elles ont encore, sur les jantes étroites, l'avantage de s'engager moins entre les aspérités d'un terrain raboteux.

Il est toutefois un cas pour lequel les jantes étroites sont évidemment préférables : c'est celui où un terrain dur se trouve recouvert d'une couche peu épaisse de boue ou de sable ; car alors les roues pénètrent jusqu'au sol résistant, quelle que soit la largeur des jantes, et celles qui ont les plus étroites, divisent la couche menable plus aisément que les autres.

56. Mais voici des expériences du comte de *Rumford*, qui prouvent que le cas dont il vient d'être question, est le seul où les jantes larges n'aient pas l'avantage.

Ces expériences ont été faites sur des roues de trois espèces différentes : le premier des tableaux suivans donne les dimensions et le poids de ces roues ; le deuxième indique les efforts moyens exercés dans le tirage, pour diverses natures de terrain et pour différentes vitesses.

PREMIER TABLEAU.

		PREMIÈRE espèce de roues.	DEUXIÈME espèce de roues.	TROISIÈME espèce de roues.	OBSERVATIONS.
Largeur des cercles.....		pi pou li 0 1 9	pi pou li 0 2 3	pi pou li 0 4 0	Le voiture montée sur des roues de la troisième espèce, pe- sant..... 1721 liv.
Hauteur des roues	de devant...	3 4 0	3 2 3	3 3 3	
	de derrière..	4 9 3	4 8 9	4 8 3	
Poids des deux roues	de devant...	124 liv.	174 liv.	240 liv.	Elle était chargée de trois personnes pesant ensemble... 400
	de derrière..	226	258	360	
Poids des quatre roues.....		350 *	432	600	Poids total de la voiture..... 2121

DEUXIÈME TABLEAU.

INDICATION DES TERRAINS PARCOURUS.	VITESSE de TRANSPORT.	EFFORTS MOYENS de traction pour les trois espèces de roues.		
		Première espèce.	Deuxième espèce.	Troisième espèce.
		liv.	liv.	liv.
Pavé de la grande route de Versailles, entre le pont de Sévres et Passy.	Petit pas....	54	46	42
	Grand pas...	66	58	52
	Petit trot....	108	90	79
	Grand trot...	145	135	125
Accotemens de la même route, chemin en terre en très-bon état.	Petit pas....	"	85	80
	Grand pas...	"	88	82
	Petit trot....	"	91	84
	Grand trot...	"	91	84
Chaussée en empierrement.....	Pas.....	"	82	76
	Trot.....	"	85	82
Terrain peu sablonneux.....	Pas.....	"	110	96
	Trot.....	"	125	105
Terrains les plus sablonneux du bois de Boulogne.	Petit pas....	"	280	240
Cailloux nouvellement placés (automne culture n'y avait encore passé).	Petit pas....	"	250	220

Ces expériences, il est vrai, n'ont pas été faites sur un assez grand nombre de roues différentes, et les terrains n'étaient pas assez variés, pour qu'on puisse déduire des résultats, la valeur de l'effort du moteur, en fonction de la largeur des jantes; mais cet effort a constamment été moindre pour les roues à jantes larges, que pour les autres, et la différence était d'autant plus grande que les enfoncemens étaient plus considérables. Cependant, le moteur n'était bien sensiblement favorisé que dans le cas où la largeur des jantes d'une espèce de roue surpassait de beaucoup celle des jantes d'une autre. Quand, par exemple, le rapport de ces largeurs était $\frac{1}{2}$, celui des efforts du moteur se trouvait seulement de $\frac{2}{3}$, dans des sables très-profonds, et de $\frac{3}{4}$ environ sur une route peu sablonneuse.

Au reste, pour apprécier avec exactitude l'influence de la largeur des jantes sur le tirage, il faudrait faire varier aussi le chargement; car l'avantage des roues larges croît avec la pression totale exercée sur le terrain, puisque évidemment la profondeur de l'ornière augmente avec cette pression. Cette réflexion nous conduit à établir en principe, que la largeur des jantes doit être proportionnée au poids de la charge.

Quant à l'influence de la vitesse sur les résistances que présente un terrain qui se laisse pénétrer, elle est tout-à-fait nulle, d'après d'autres expériences du comte de *Rumford* (16); par conséquent, le surcroît d'effort que le creusement des ornières impose au moteur, reste toujours le même, quelle que soit la vitesse de la voiture.

37. Le sol dur et le sol pénétrable que nous avons considérés (44 et 54), doivent être regardés comme des limites entre lesquelles se trouvent les terrains que les voitures d'artillerie sont destinées à parcourir. Nous pouvons conséquemment donner pour des règles générales, celles qui conviennent à la fois à ces deux espèces. Ainsi, 1° dans tous les cas, le rayon des roues doit être pris aussi grand que le permettent les autres conditions auxquelles chaque voiture est assujettie;

2° Le tirage est toujours d'autant plus facile que les jantes sont plus larges, puisqu'on n'a trouvé jusqu'à présent qu'un seul cas où les jantes étroites aient l'avantage, et que ce cas se présente fort rarement. Mais, si l'on observe qu'une assez faible augmentation de la largeur des jantes, fait croître considérablement le poids des roues, comme le montre le premier des tableaux précédens, on verra qu'il faut se borner à proportionner cette largeur à la charge de la voiture.

Ajoutons, pour achever de résumer ce qui vient d'être dit, que les voitures suspendues sont très-avantageuses dans les terrains durs et raboteux; qu'elles cessent de l'être dans ceux qui se laissent pénétrer, et que la fatigue des chevaux est d'autant plus considérable que le chemin est plus raboteux et la vitesse plus grande. L'augmentation de fatigue tient alors à deux causes : augmentation dans la perte de force vive ou dans la quantité d'action totale que le moteur doit dépenser pour conserver la vitesse moyenne, et succession plus rapide des efforts nécessaires

pour produire la quantité d'action relative à chaque unité de temps.

Si nous ne parlons pas de l'influence du rayon moyen de la boîte de roue, c'est que nous supposons (46) que l'essieu est en fer, la boîte en cuivre, et que la portion de puissance destinée à vaincre le frottement de ces deux parties, est tout-à-fait négligeable. Au reste, il résulte du n° 45, qu'en général on doit s'attacher à réduire au minimum, le rayon moyen de la fusée d'essieu, qui peut être considéré comme étant le même que celui de la boîte de roue.

ROULEMENT SUR UN SOL INCLINÉ.

58. Considérons maintenant une roue O placée sur un terrain incliné AB qui fait avec l'horizon un angle $\downarrow$ (fig. 11). Si nous décomposons le poids total P de la roue et de la charge, en deux parties dont l'une soit dirigée suivant la normale OA , et l'autre selon OC parallèle au sol, la première aura pour valeur $P \cos AOG = P \cos \downarrow$, et la seconde sera $P \sin \downarrow$. Cette dernière, appliquée à l'essieu en sens inverse du mouvement, s'opposera directement à l'ascension de la roue, tandis que la force $P \cos \downarrow$, passant par le point d'appui A , la pressera contre le sol.

Ainsi, quand le moteur agit suivant OH , parallèle au plan incliné, il doit exercer un effort égal à $P \sin \downarrow$, quel que soit le rayon de la roue et la nature du sol, et simultanément le même effort Q' qu'il faudrait pour faire rouler, sur un terrain horizontal, une roue dont la pression serait $P \cos \downarrow$. Tout ce que nous avons dit précédemment des roues pour le cas d'un terrain horizontal, s'applique donc au cas actuel. On doit seulement observer que si Q est l'effort total nécessaire, la roue n'a d'influence que sur la portion $Q - P \sin \downarrow$ ou Q' de cet effort.

Par conséquent, plus $P \sin \downarrow$ sera grand, et moins les avantages ou les inconvénients de la machine seront sensibles; d'où il suit qu'en terrain incliné, les roues favorisent moins le moteur qu'en terrain horizontal. Elles le favorisent même d'autant moins, que le poids total du système est plus considérable, que le sol a plus d'inclinaison et qu'il présente moins d'obstacles.

Dans une descente, la pression contre le terrain est toujours $P \cos \downarrow$, mais la force $P \sin \downarrow$, au lieu d'être contraire à la

puissance motrice, agit dans le même sens; de sorte que si cette force est égale aux résistances du sol, le moteur n'a qu'à marcher, et que si elle les surpasse, il se trouve obligé de retenir le système. On le soulage dans ce genre de travail en enrayant, c'est-à-dire en empêchant une roue de tourner autour de l'essieu. Le frottement de la fusée sur la boîte est alors remplacé par un frottement très-rude qui a lieu sur le terrain; le rayon de la roue n'aide plus la puissance, et ces deux changemens sont bien suffisans pour détruire, dans les circonstances ordinaires, l'effet de la force $P \sin \phi$.

Ce n'est pas ici le lieu de parler des divers moyens qu'on emploie pour enrayer; nous les exposerons à la suite des voitures à deux trains.

Il nous reste à examiner ce qui arriverait, si la direction OH' du moteur, au lieu d'être parallèle au plan incliné, faisait avec ce plan un angle quelconque φ . En décomposant le poids total P de manière à diriger l'une P' des parties selon la normale OA , et l'autre P'' , selon le prolongement OE de OH' , nous obtenons,

$$P' = P \cos \phi - P \sin \phi \tan \varphi, \quad P'' = P \frac{\sin \phi}{\cos \varphi}.$$

Par conséquent, le système se trouvera dans les mêmes circonstances, que s'il était tiré en avant sur un terrain horizontal, avec un effort Q' , dont la direction coupait l'horizon sous un angle φ , et que la pression de la roue fût $P \cos \phi - P \sin \phi \tan \varphi$; seulement, il faudrait que l'effort total Q du moteur, se trouvât constamment tel qu'on eût à chaque instant

$$Q = Q' + P \frac{\sin \phi}{\cos \varphi}.$$

Ainsi, pour ce qui est des roues, le tirage sur un sol incliné se ramènera toujours aisément au tirage sur un sol horizontal.

59. Au reste, nous allons donner la valeur générale de l'effort de traction sur une rampe qui se laisse pénétrer. Nous emploierons à cet effet les notations du n° 55, et ϕ sera encore l'inclinaison du sol.

Il y a deux cas à considérer; celui d'une montée et celui d'une descente. Soit $\sin \phi > 0$, pour le premier. Les forces P , p , Q décomposées parallèlement et normalement à la rampe,

donnent, pour la résultante de celles qui portent le système en avant, $Q \cos \varphi - (P + p) \sin \downarrow$, et pour la pression sur le terrain $(P + p) \cos \downarrow - Q \sin \varphi$. La résistance due à ce terrain est donc

$$\frac{A}{R} [(P + p) \cos \downarrow - Q \sin \varphi] + \frac{E}{R} (R - a).$$

Celle que produit le frottement de l'essieu, a pour cause la résultante des forces qui portent le système en avant, et de la pression diminuée de $p \cos \downarrow$ que détruit le sol. Sa valeur est donc

$$f' \sqrt{(P \cos \downarrow - Q \sin \varphi)^2 + [Q \cos \varphi - (P + p) \sin \downarrow]^2}.$$

Appliquant le théorème du n° 47, on la fait devenir

$$f'^2 (P \cos \downarrow - Q \sin \varphi) + f' \beta [Q \cos \varphi - (P + p) \sin \downarrow].$$

Il se déduit aisément de tout cela, au moyen du principe des vitesses virtuelles,

$$Q = \frac{rf' [a P \cos \downarrow - \beta (P + p) \sin \downarrow] + A (P + p) \cos \downarrow + E (R - a) + R (P + p) \sin \downarrow}{\cos \varphi (R - rf' \beta) + \sin \varphi (A + rf' a)} \quad (I)$$

relation qui fait retrouver l'équation (II) relative au sol pénétrable horizontal (55), quand on fait $\sin \downarrow = 0$ et qu'on simplifie le dénominateur.

Dans le cas des traits parallèles à la rampe, $\varphi = 0$, et la valeur de Q devient, si l'on néglige $rf' \beta$,

$$Q = \frac{rf' [a P \cos \downarrow - \beta (P + p) \sin \downarrow] + A (P + p) \cos \downarrow - a E}{R} + (P + p) \sin \downarrow + E. \quad (II)$$

Quant à l'angle de traction qui rend l'effort Q un minimum, il est à très-peu-près donné par $\tan \varphi = \frac{A}{R}$, et conséquemment le même que sur un terrain horizontal et pénétrable.

60. Lorsque la roue descend une rampe, l'angle $\downarrow$ se trouve au-dessous du plan horizontal, au lieu d'être au-dessus comme précédemment. $\sin \downarrow$ devient donc négatif, de positif qu'il était, et parce que $\cos \downarrow$ conserve son signe, il suffit, pour obtenir la valeur de Q , relative à ce nouveau cas, de changer dans l'équation (I) les signes des termes où entre $\sin \downarrow$.

Il est d'ailleurs visible que celle des composantes du poids de tout le système qui agit parallèlement au sol, favorise alors la puissance, et qu'en conséquence l'effort de traction est d'autant moindre que la pente est plus forte. Il serait nul, s'il arrivait qu'on eût

$$(P + p) \sin \varphi = \frac{r f' a P \cos \varphi + A (P + p) \cos \varphi + E (R - a)}{R - r f' \beta}.$$

Quand φ sera plus grand que ne l'exige cette égalité ou que les résistances du sol diminueront, la roue pourra descendre d'elle-même, par un mouvement uniformément accéléré; de sorte qu'il faudrait alors, pour conserver une vitesse constante, que la puissance agit en sens inverse de la direction.

CHAPITRE DEUXIÈME.

THÉORIE DES VOITURES.

La théorie des voitures est le calcul des forces qui entrent en jeu dans les différentes circonstances qu'elles peuvent présenter, et l'appréciation des effets de ces forces. Nous étudierons successivement sous ces rapports, les voitures à deux roues et les voitures à quatre roues.

SECTION PREMIÈRE.

VOITURES A DEUX ROUES.

61. La théorie du tirage pour les voitures à deux roues est contenue tout entière dans la solution de ce problème général : déterminer, pour toutes les circonstances qui peuvent se présenter, la pression que supporte l'essieu, celle qu'éprouve le dos du cheval de limon et l'effort que le moteur doit faire pour vaincre les diverses résistances.

Nous considérerons comme invariable, le système que le corps de la voiture forme avec le chargement. Nous admettrons que le centre de gravité de ce système se trouve dans le plan de symétrie; pour que la pression se fasse parallèlement à ce plan,

nous supposerons que les fusées soient cylindriques, et nous négligerons la légère courbure de l'essieu.

Il semblerait au premier aperçu qu'on dût placer le centre de gravité du système dans un plan mené par l'axe de l'essieu, perpendiculairement à l'axe longitudinal du corps de voiture. Ce serait le moyen d'éviter au limonier toute espèce de pression, dans le cas du repos; mais aussi les moindres inégalités du sol produiraient, pendant le mouvement, des oscillations presque continuelles, et il en résulterait des chocs qui fatigueraient le cheval beaucoup plus qu'une charge modérée. C'est donc toujours en avant du plan dont il vient d'être question, que doit se trouver le centre de gravité du système formé par le fardeau et le corps de voiture.

REPOS SUR UN SOL HORIZONTAL.

62. D'après cela, et dans le cas où la voiture est au repos sur un terrain horizontal, le poids total P , celui des roues excepté, se décompose en quatre forces verticales : deux pressions égales sur les génératrices inférieures des boîtes de roue, et deux pressions égales sur les extrémités de la dossière. Nous désignerons par P' la résultante des deux premières, qui passe par l'intersection de l'axe de l'essieu et du plan de symétrie; P'' représentera la résultante des deux autres et sera aussi une force verticale contenue dans le plan de symétrie.

Soient en outre G la position du centre de gravité du système (fig. 12), O la trace de l'axe de l'essieu sur le plan de symétrie, A la projection sur ce plan, des deux points où les limons sont soutenus par la dossière; menons par A une horizontale AB et représentons sa longueur par l ; menons par O une verticale OB et désignons sa longueur par d : cette quantité sera positive ou négative, selon que l'horizontale AB passera au-dessus ou au-dessous de l'essieu. Enfin, exprimons par a et b l'abscisse horizontale et l'ordonnée verticale du centre de gravité, l'origine étant en B .

Nous aurons évidemment, pour déterminer les pressions P' , P'' , les équations

$$P' = \frac{P(l-a)}{l}, \quad (I) \qquad P'' = \frac{Pa}{l}. \quad (II)$$

La seconde montre que P'' , charge du limonier, devient négative en même temps que a , et dans la même circonstance, le signe — qui se trouve au numérateur de la première se change en +. Par conséquent, les roues sont plus chargées quand le centre de gravité se trouve en arrière de l'essieu, que dans tout autre cas, et le tirage exige plus d'effort; le limonier, au lieu d'être pressé par la dossière, est au contraire soulevé par la sous-ventrière, et il en résulte, outre de la fatigue pour le ventre du cheval, une diminution dans la force de traction; car l'animal ne pressant plus le sol de tout son poids, s'abandonne moins sur son collier, afin de ne pas glisser (8).

Il est donc très-important que le centre de gravité du système formé par le fardeau et le corps de voiture, se trouve en avant de l'axe de l'essieu. D'un autre côté, l'équation (II) apprend que la distance a doit être d'autant plus petite que le poids total P est plus considérable; car la charge P'' du limonier ne peut dépasser une certaine limite.

REPOS SUR UN SOL INCLINÉ.

63. Pour transporter notre système d'un sol horizontal sur un sol incliné, il suffit de le faire tourner autour du point O (fig. 12). La verticale OB devient OB' normale au terrain, BA prend la position $B'A'$ perpendiculaire à OB' et G passe en G' , point dont les coordonnées rectangulaires $B'D'$, $D'G'$ égalent respectivement a et b . La droite $A'B'$ menée par la nouvelle position de A , n'est pas exactement parallèle au terrain, comme nous le supposons; car, par suite de la position du cheval, la normale abaissée de A' doit être plus courte que celle qui part de A ; mais attendu que la différence est très-petite, nous pouvons admettre le parallélisme; il en résulte que l'angle BOB' est égal à l'angle $\downarrow$ que fait la rampe avec l'horizon.

Nous supposons encore que la résistance qui provient du sol, soit suffisante pour empêcher le mouvement rétrograde des roues. Le cheval n'aura à faire aucun effort en avant pour retenir la voiture, et l'axe de l'essieu sera un axe fixe de rotation.

Les seules forces auxquelles le système se trouve alors soumis, sont le poids total P qui agit selon la verticale $G'I$ pour faire tourner le corps de voiture autour de O , et une force P'' que

le dos du cheval oppose à ce mouvement, selon la normale en A' . Mais le poids P se décompose en deux forces, l'une $P \cos \downarrow$ qui agit selon la normale $G'D'$, l'autre $P \sin \downarrow$ parallèle au sol. Cette dernière, dont la direction est $G'F$, tend à faire tourner le système autour de l'axe fixe, dans un sens contraire à celui de la première, et par conséquent la relation des momens pris par rapport au point O , est pour le cas d'équilibre,

$$aP \cos \downarrow - (d + b)P \sin \downarrow - lP_1'' = 0,$$

d'où l'on tire

$$P_1'' = P \frac{a \cos \downarrow - (d + b) \sin \downarrow}{l}. \quad (I)$$

Telle est la pression que doit supporter le limonier, dans le cas du repos sur un sol incliné; car le dos de l'animal peut être regardé comme parallèle à la rampe.

L'équation (I) donne le moyen de déterminer $d + b$ de façon que le centre de gravité du système ne passe point en arrière de l'axe de l'essieu, dans les montées les plus raides qu'une voiture puisse parcourir. Il suffit d'exprimer que P_1'' est nul pour de telles montées, car alors le centre de gravité se trouvera seulement dans le plan vertical qui passe par l'axe de rotation. Or, abstraction faite des rampes très-raides que présentent certains accidens de terrain, on regarde l'inclinaison de 15° comme la plus forte que puisse offrir une route en pays de montagnes. Il faut donc poser l'équation

$$a \cos 15^\circ - (d + b) \sin 15^\circ = 0,$$

ou cette autre

$$a - (d + b) \tan 15^\circ = 0. \quad (II)$$

En combinant cette équation avec la valeur de a tirée de l'équation (II) du n° 62, on obtiendra $d + b$, puisque la charge P'' que peut supporter un cheval en terrain horizontal est connue, et l'on en conclura d ou b , selon qu'il s'agira de construire une voiture dont on connaîtra le mode de chargement, ou de déterminer la position du centre de gravité du système, pour une voiture construite.

Au lieu d'avoir recours à ces calculs, on peut aussi, pour le dernier cas, se contenter d'imiter les rouliers qui apprécient,

en soulevant à bras les limons, si le fardeau du limonier est trop fort ou trop faible; mais il faut alors qu'après avoir fait l'épreuve en tenant les limons dans une position horizontale, on les incline d'environ 15° , afin de s'assurer que le centre de gravité du système ne pourra passer en arrière de l'axe de l'essieu, dans les montées les plus raides.

64. Pour reconnaître l'influence d'une pente sur la charge du limonier, il suffit de retrancher l'équation (I) du n° 63 de l'équation (II) du n° 62 et de rechercher quelles variations font éprouver à $P'' - P_1''$ les différentes valeurs de $\downarrow$.

La différence fournie par la soustraction indiquée est

$$P'' - P_1'' = P \frac{(d+b)\sin\downarrow + a(1-\cos\downarrow)}{l}, \quad (\text{III})$$

et il s'agit de reconnaître dans quels cas le second membre de cette équation est positif ou négatif. Nous ferons d'abord observer que dans les circonstances ordinaires $d+b$ est toujours positif; car toujours $A'B'$ passe au-dessus de l'axe de l'essieu et le centre de gravité G' se trouve au-dessus de $A'B'$. L'abscisse a est positive aussi, puisque le centre de gravité ne doit jamais passer en arrière du plan vertical mené par l'axe de l'essieu. Le signe de $P'' - P_1''$ dépend donc uniquement de $\sin\downarrow$ qui est positif dans les montées et négatif dans les descentes.

Voyons maintenant dans quels cas $P'' - P_1'' = 0$. Ils doivent être indiqués par l'équation

$$(d+b)\sin\downarrow + a(1-\cos\downarrow) = 0.$$

On en tire

$$\sin\downarrow = 0, \quad \text{et} \quad \sin\downarrow = -\frac{2a(d+b)}{a^2 + (d+b)^2}.$$

La différence $P'' - P_1''$ est donc positive tant qu'on a $\sin\downarrow > 0$, et nulle quand $\sin\downarrow = 0$; elle devient négative en même temps que $\sin\downarrow$; se retrouve encore une fois nulle lorsque $\sin\downarrow = -\frac{2a(d+b)}{a^2 + (d+b)^2}$, et reprend le signe $+$ au-delà de cette inclinaison. Ainsi, les montées diminuent la charge du limonier et la diminuent d'autant plus qu'elles sont plus raides. Les des-

centes l'augmentent jusqu'à une certaine inclinaison, passé laquelle a lieu une nouvelle diminution.

Il est clair, d'après cela, qu'il y a une inclinaison comprise entre $\sin \varphi = 0$ et $\sin \varphi = -\frac{2a(d+b)}{a^2 + (d+b)^2}$, qui rend un maximum la valeur négative de $P'' - P_1''$ ou la valeur positive de P_1'' . Pour connaître cette inclinaison, il faut différentier l'équation (I) du n° 63 et rendre nul le coefficient différentiel. On trouve par là

$$\tan \varphi = -\frac{d+b}{a},$$

ce qui fait voir que l'inclinaison de la descente où P_1'' atteint le maximum, est d'autant plus forte que $d+b$ est plus grand. Ordinairement $d+b$ a une telle valeur que la pente qui répond au maximum de P_1'' surpasse la plus raide de celles que des chevaux puissent descendre. Par conséquent, $\sin \varphi$ n'atteint jamais la valeur $-\frac{2a(d+b)}{a^2 + (d+b)^2}$, et le repos sur toute descente praticable augmente la charge du limonier, sans la porter au maximum.

Si l'on veut voir comment se passent les faits qui viennent d'être mentionnés, il faut placer dans différentes positions (fig. 13) le système OMLG formé par l'horizontale OM menée du point O, et la verticale LG = $d+b$ abaissée du centre de gravité G. Ce centre parcourra un arc décrit de O avec le rayon OG; en G' le moment du poids P sera augmenté, la distance de P_1'' au point O sera la même que pour la position G, et par conséquent P_1'' sera devenu plus grand que P'' ; en G'' les moments de P et P_1'' seront au maximum; en G''' ces quantités auront les mêmes valeurs qu'en G'; en G'''' elles auront les mêmes valeurs qu'en G, et P_1'' sera encore égal à P'' ; enfin, au-delà de G'''' les moments de P et P_1'' seront moindres qu'en G.

MOUVEMENT SUR UN SOL HORIZONTAL.

65. Les forces qui sollicitent une voiture au repos, existent encore lorsqu'il y a mouvement; mais elles ne sont plus les seules qu'il faille considérer: de nouvelles forces modifient les pressions que produisent les premières sur l'essieu et sur le limonier.

Nous supposerons d'abord que la voiture soit attelée d'un seul cheval et que le mouvement ait lieu sur un terrain horizontal. La notation du n° 62 sera conservée; p , R , r indiqueront respectivement le poids des deux roues, leur rayon et le rayon moyen de la fusée d'essieu ou de la boîte; Q représentera la résultante des tensions que le cheval fait éprouver à ses traits, et la direction de cette force sera regardée comme invariablement contenue dans le plan de symétrie de la voiture; l'angle formé par la direction de Q et le terrain, sera indiqué par φ , et d exprimera la distance de cette direction à l'axe de l'essieu. Enfin, nous considérerons d comme positif, quand les prolongemens des traits passeront au-dessus de l'axe, et comme négatif dans le cas contraire. On voit par là que ces traits sont supposés tendus en lignes droites; mais leur faible poids permet bien une telle hypothèse.

Ce n'est pas au moment où la voiture est tirée du repos, que nous avons à considérer le mouvement; la vitesse alors insensible, s'accroît par degrés et parvient bientôt à celui qu'il faut conserver pour obtenir le maximum d'effet d'une allure déterminée. Nous devons donc admettre que la voiture se meut uniformément. Or, pour qu'il en soit ainsi, il suffit que toutes les forces qui sollicitent le système, se fassent constamment équilibre autour de l'axe de l'essieu; car, en vertu de l'inertie, toute masse conserve la vitesse qui lui a été imprimée, si les résistances sont à chaque instant détruites par la puissance.

Les boîtes de roue supportent une pression oblique qui provient de P , poids de tout le système, les roues exceptées, et de l'effort de traction Q appliqué au point M où se projettent, sur le plan de symétrie, les points d'attache des traits (fig. 14). Cette pression a une composante verticale P' qu'égalé la réaction verticale de la roue, et une composante horizontale q qu'égalé la résultante des résistances qui, décomposées parallèlement au sol, s'opposent au mouvement de translation. Enfin, la réaction de la dossière détruit une pression P'' qui provient aussi de P et de Q .

Il faut donc qu'il y ait équilibre entre P , Q et les forces P' , q , P'' prises en sens contraires. Or, nous écrirons que l'équilibre existe, si nous égalons à zéro, la somme des forces

horizontales, celle des forces verticales et celle des moments pris par rapport à l'axe de l'essieu. Il en résulte les trois équations suivantes :

$$\begin{aligned} Q \cos \varphi - q &= 0, \\ P - P' - P'' - Q \sin \varphi &= 0, \\ Qd + Pa - P'l &= 0. \end{aligned}$$

Elles donnent

$$q = Q \cos \varphi, \quad P' = \frac{Qd + Pa}{l}, \quad P'' = P \frac{l-a}{l} - Q \left(\sin \varphi + \frac{d}{l} \right).$$

Conséquemment (59), le frottement de l'essieu est

$$f' \left\{ \alpha \left[P \frac{l-a}{l} - Q \left(\sin \varphi + \frac{d}{l} \right) \right] + \beta Q \cos \varphi \right\},$$

et le frottement de roulement sur le sol (47) vaut

$$\frac{A}{R} \left[p + P \frac{l-a}{l} - Q \left(\sin \varphi + \frac{d}{l} \right) \right].$$

D'ailleurs, la résistance due à l'adhérence et au frottement contre les faces latérales des jantes (55), reste toujours E. Si donc nous supposons que le centre de gravité du système, qui se meut parallèlement au sol, s'avance d'une quantité k fort petite, le principe des vitesses virtuelles fournira l'équation

$$\begin{aligned} Qk \cos \varphi - k \frac{r}{R} f' \left\{ \alpha \left[P \frac{l-a}{l} - Q \left(\sin \varphi + \frac{d}{l} \right) \right] + \beta Q \cos \varphi \right\} \\ - k \frac{A}{R} \left[p + P \frac{l-a}{l} - Q \left(\sin \varphi + \frac{d}{l} \right) \right] - kE \frac{R-a'}{R} = 0, \end{aligned}$$

et par suite

$$Q = \frac{rf' \alpha P \frac{l-a}{l} + A \left(p + P \frac{l-a}{l} \right) + E(R-a')}{R \cos \varphi + A \sin \varphi + \frac{A}{l} + rf' \left[\alpha \left(\sin \varphi + \frac{d}{l} \right) - \beta \cos \varphi \right]}. \quad (I)$$

Si, dans cette expression, nous faisons $a = 0$, $d = 0$, nous exprimons que le poids total P est entièrement supporté par l'essieu, que la direction de la puissance passe par l'axe de cet essieu, et nous retombons sur l'équation (II) du n° 55, dans laquelle le terme en f' du dénominateur a été négligé. Il en

doit être effectivement ainsi, puisque la voiture est alors ramenée au simple système de deux roues et d'un essieu chargé.

66. L'équation (I) qui donne l'effort de traction, et la valeur

$$P' = \frac{Qd + Pa}{l} \quad (II)$$

de la pression sur la dossière, indiquent plusieurs règles de construction.

Nous voyons d'abord par l'équation (I), que la partie $P \frac{l-a}{l}$ du poids P , que supporte l'essieu, à une très-grande influence sur la valeur de Q . Il faudrait donc, pour diminuer cet effort, augmenter le rapport $\frac{a}{l}$. Mais, comme le dénominateur l , distance horizontale de la dossière à l'essieu, est déterminé par des conditions relatives à la nature du service, on ne peut disposer que de a . Ainsi, le centre de gravité G du système, moins les roues, devrait être éloigné de l'essieu (fig. 14). Or, l'équation (II) montre qu'on ne saurait augmenter a , sans faire croître la charge du limonier précisément de la quantité dont serait allégée celle de l'essieu; on doit donc se borner à prendre pour a une longueur telle que la charge du limonier soit tout ce qu'elle peut être relativement à la stabilité que doit avoir les limons (61).

Si l'on compare l'équation (II), à celle du n° 62, on reconnaît que la distance a ne peut être aussi grande dans une voiture en mouvement que dans une voiture au repos; car la charge du limonier a une limite qu'elle doit ne jamais dépasser, et sa valeur pour le premier cas, surpasse celle du deuxième de la quantité $Q \frac{d}{l}$, qui croît avec la difficulté du tirage, la distance des traits à l'axe de l'essieu et le rapprochement du même axe et de la dossière.

La distance d influe peu sur la valeur de l'effort; néanmoins Q diminue, quand la ligne de traction s'éloigne de l'essieu, en restant au-dessus. Mais comme le rapport de deux valeurs de Q serait évidemment moindre que le rapport inverse des deux valeurs correspondantes de d , le produit Qd augmenterait et diminuerait avec d . Par conséquent, les traits doivent toujours

passer à une très-petite distance de l'essieu, pour que la charge P'' du limonier reste toujours à-pen-près telle qu'elle résulte de la distance a , malgré les variations de Qd .

Quant à l'angle φ sous lequel se fait le tirage, il rend Q à fort peu près un minimum, lorsque $\tan \varphi = \frac{A}{R}$. Donc, pour les voitures à un seul train, comme pour le simple système de deux roues et d'un essieu, l'angle de traction doit être d'autant plus grand que le chemin est plus mauvais et que les roues sont plus petites (55).

L'équation (I) montre encore qu'on diminue l'effort Q , en atténuant le frottement de l'essieu et en se servant de grandes roues. Cependant, le rayon R de ces roues doit n'être pas tel, que le poids p soit assez fort pour compenser par l'augmentation du numérateur, celle du dénominateur.

Enfin, l'élévation du centre de gravité G au-dessus du sol n'entrant point dans la valeur de Q , ni dans celle de P'' , n'exerce aucune influence sur la fatigue du moteur, en terrain horizontal.

MOUVEMENT SUR UN SOL INCLINÉ.

67. Le cas où une voiture monte une rampe (fig. 15) diffère de celui où elle roule sur un plan horizontal, en ce que le poids P du corps de voiture joint au chargement, a deux composantes inclinées, l'une $P \cos \downarrow$ normale au plan du terrain, l'autre $P \sin \downarrow$ parallèle au même plan, et en ce que le poids p des roues produit une force $p \sin \downarrow$ directement opposée au mouvement. L'autre composante $p \cos \downarrow$ de p ne fait que presser le sol, comme le poids entier p dans le cas précédent.

Les conditions de l'équilibre de toutes les forces autour de l'essieu, seront donc (65)

$$Q \cos \varphi - q - P \sin \downarrow - p \sin \downarrow = 0,$$

$$P \cos \downarrow - P' - P'' - Q \sin \varphi = 0,$$

$$Qd + Pa - P'l = 0.$$

Elles donnent

$$q = Q \cos \varphi - (P + p) \sin \downarrow, \quad P' = \frac{Qd + Pa}{l}, \quad P'' = P \frac{l \cos \downarrow - a}{l} - Q \left(\sin \varphi + \frac{d}{l} \right).$$

Le frottement de l'essieu est donc (59)

$$f' \left\{ \alpha \left[P \frac{l \cos \psi - a}{l} - Q \left(\sin \psi + \frac{d}{l} \right) \right] + \beta \left[Q \cos \psi - (P + p) \sin \psi \right] \right\},$$

et celui du roulement vaut

$$\frac{A}{R} \left[p \cos \psi + P \frac{l \cos \psi - a}{l} - Q \left(\sin \psi + \frac{d}{l} \right) \right].$$

Appliquant le principe des vitesses virtuelles, en tenant compte de la résistance E , due à l'action du sol contre les faces latérales des jantes, nous trouverons (45)

$$\begin{aligned} & Q k \cos \psi - k(P + p) \sin \psi \\ & - k \frac{r}{R} f' \left\{ \alpha \left[P \frac{l \cos \psi - a}{l} - Q \left(\sin \psi + \frac{d}{l} \right) \right] + \beta \left[Q \cos \psi - (P + p) \sin \psi \right] \right\} \\ & - k \frac{A}{R} \left[p \cos \psi + P \frac{l \cos \psi - a}{l} - Q \left(\sin \psi + \frac{d}{l} \right) \right] - k E \frac{R - a'}{R} = 0, \end{aligned}$$

et par suite,

$$Q = \frac{1}{D} \left\{ R(P + p) \sin \psi + r f' \left[\alpha P \frac{l \cos \psi - a}{l} - \beta (P + p) \sin \psi \right] + A \left(p \cos \psi + P \frac{l \cos \psi - a}{l} \right) + E(R - a') \right\} \quad (1)$$

en faisant, pour abréger,

$$R \cos \psi + A \sin \psi + A \frac{d}{l} + r f' \left[\alpha \left(\sin \psi + \frac{d}{l} \right) - \beta \cos \psi \right] = D.$$

Cette valeur de la puissance et celle de P'' , pression sur la dossière, reproduisent les règles de construction établies dans le n° 66; mais en terrain incliné, l'élévation GH du centre de gravité au-dessus de la parallèle au sol, menée par un point de l'axe de l'essieu, n'est pas sans influence, comme dans le cas du plan horizontal. Le point G doit se trouver tellement placé que la direction verticale du poids P , ne puisse passer en arrière de l'essieu, même sur les rampes les plus raides (63). Toutefois, la meilleure disposition du chargement n'empêche pas la difficulté du tirage d'augmenter avec ψ , car plus cet angle est grand, plus la distance a est petite. Cette difficulté croît encore en raison de l'accroissement de $(P + p) \sin \psi$, valeur de la composante parallèle au sol que donne le poids de tout le système.

Aussi, suffit-il de remarquer que cette quantité n'existe pas dans le numérateur de l'équation (I) du n° 65, pour découvrir la cause qui rend le tirage plus pénible sur une montée que sur un terrain de niveau.

Ce qui vient d'être dit montre que la pression P'' , supportée par le limonier, éprouve deux variations inverses, quand l'inclinaison augmente: le terme Qd croît, et le terme Pa décroît. Il peut donc arriver que sur une montée, la pression P'' soit supérieure ou égale ou inférieure à ce qu'elle est en terrain horizontal.

68. L'équation (I) convient au cas d'une descente, si l'on y fait $\sin \downarrow < 0$. Le terme $R(P + p)\sin \downarrow$ est donc alors négatif et diminue notablement l'effort de traction. Il arrive même, quand A et E sont faibles, que le moteur n'a presque plus d'action à exercer. Parfois encore la valeur de Q devient négative, et le cheval, au lieu de tirer, est obligé d'agir sur les chaînes de retraite, au moyen de l'avaloire, pour empêcher la voiture de prendre un mouvement accéléré.

Il ne s'ensuit pas néanmoins que la pression P'' soit inférieure à ce qu'elle est dans une montée. Au contraire même, elle se trouve plus grande, parce que a augmente dans les descentes et que d devient négatif avec Q . Il est visible effectivement, qu'en raison de l'abaissement qu'éprouve l'arrière-main du limonier, quand ce cheval est obligé de retenir, la direction de l'effort passe au-dessous de l'axe de l'essieu, et souvent beaucoup plus au-dessous qu'elle n'est au-dessus dans les autres circonstances.

69. Tout ce qui a été dit du mouvement d'une voiture à deux roues, trainée par un seul cheval sur un sol horizontal et sur un sol incliné, est applicable au cas où elle est attelée de plusieurs chevaux. S'ils tirent les uns sur les autres dans une seule file, Q devient la résultante des efforts de tous, et nous avons établi précédemment (40) la relation qui existe entre cette résultante et la somme des efforts particuliers.

Mais ce n'est que momentanément, dans des passages étroits, qu'on dispose sur une seule file les deux chevaux d'une charrette d'artillerie. Ils sont ordinairement placés de front, et comme nous l'avons dit (31), les traits du porteur s'attachent au limon

de gauche. L'effort de ce cheval se décompose donc en deux parties, l'une perpendiculaire à la direction du mouvement, l'autre parallèle. Comme la première est toujours très-faible, on peut se dispenser d'y avoir égard, et prendre pour Q la somme des efforts des deux chevaux.

PRESSIONS LATÉRALES SUR LE LIMONIER.

70. La résultante des efforts de deux chevaux attelés de front sur une charrette, n'agissant pas dans le plan de symétrie, produit deux effets : elle porte le système en avant et tend à le faire tourner autour d'un axe perpendiculaire au terrain. Si donc ce terrain n'oppose pas une résistance suffisante à une telle rotation, c'est le limonier qui est obligé de l'empêcher, en résistant à la pression que son flanc droit reçoit de l'un des limons.

Il est encore deux autres cas remarquables où le même cheval peut éprouver de pareilles pressions latérales : celui où les roues ne roulent pas également bien et celui où le plan de symétrie du système n'est pas vertical.

Dans le premier cas, les pressions des fusées sur les boîtes ne sont plus égales, puisqu'elles dépendent des résistances qui s'opposent au mouvement des roues. Il n'y a donc plus égalité entre les composantes parallèles de la force π égale et contraire à la résultante de ces pressions, c'est-à-dire entre les forces qui, appliquées à l'essieu, s'opposent à son mouvement. Soient π' , π'' ces deux forces (fig. 16). Nous ne changerons rien à l'état des choses, si au milieu C de l'essieu AB , dans le plan de symétrie de la voiture et parallèlement aux directions de π' , π'' , nous appliquons deux forces contraires, égales à π' et deux forces contraires, égales à π'' . Alors il y aura en C une résultante π qui agira de D vers C pour s'opposer au mouvement de l'essieu, comme précédemment, et sur AC , BC agiront deux couples $(\pi', -\pi')$, $(\pi'', -\pi'')$. Mais, l'un de ces couples peut être transporté sur le bras de levier de l'autre. Il en résultera, sur AC , par exemple, un couple unique dont chaque force sera la différence de π' à π'' . Décomposons ce couple en deux autres, l'un situé dans un plan mené par l'axe de l'essieu, parallèlement au sol, l'autre situé dans un plan normal au précédent et mené

par le même axe. Ce second couple tend à soulever l'une des roues, en pressant l'autre contre le terrain; mais la charge de la voiture annule complètement cet effet. C'est du premier couple que peut résulter une pression latérale sur le limonier: il tend à faire pivoter la voiture autour d'un axe normal au sol; les résistances qui s'opposent à un pareil mouvement des roues, ne sont pas toujours capables de le rendre nul, et alors le cheval est obligé de résister à l'action de l'un des limons. Mais généralement la pression qui en résulte n'est pas assez grande pour qu'on doive y faire attention, lorsqu'on veut apprécier la fatigue du motenr.

Si le plan de symétrie de la voiture n'est pas vertical, ou, ce qui est la même chose, si l'axe de l'essieu est incliné par rapport au sol, la portion de charge qu'il supporte se décompose en deux parties, l'une perpendiculaire et l'autre parallèle à cet axe. Celle-ci tend à faire glisser les roues dans le sens de l'essieu, et quand le terrain ne s'oppose pas suffisamment à cet effet, il en résulte que les limons exercent une pression latérale sur la partie postérieure du cheval, et une pression latérale sur la partie antérieure du côté opposé, ce qui doit singulièrement gêner la marche de l'animal.

Dans le cas dont il s'agit, la voiture peut encore avoir une tendance à verser; mais nous renverrons l'examen de cette circonstance à la section suivante.

SECTION DEUXIÈME.

VOITURES A QUATRE ROUES.

L'artillerie emploie aujourd'hui deux espèces de voitures à quatre roues. Dans l'une, la partie antérieure de l'avant-train est maintenue par une pièce qui, placée derrière l'essieu, appuie contre le dessous de l'arrière-train; dans l'autre, la même partie est soutenue par les chevaux de timon. Nous avons donc à étudier successivement ces deux sortes de voitures. Pour plus de simplicité dans le discours, les premières seront nommées *voitures à contre-appui*, et les secondes *voitures à support*; parmi ces dernières doivent être comprises les voitures à bras de limonière, dont l'avant-train n'a pas de pièce de contre-

appui: tels sont les affûts de siège de *Gribeauval* et les affûts de campagne de l'artillerie anglaise.

VOITURES A CONTRE-APPUI.

71. La composition générale la plus usitée pour les voitures à contre-appui de l'artillerie actuelle, est celle qui suit.

Le corps de voiture AB (fig. 17) recouvre une portion aC de l'avant-train ab , et la longueur de cette portion est partagée en deux parties par la selette S située au-dessus de l'essieu de devant e . A la partie postérieure ae , se trouve, sur une pièce de contre-appui a , la cheville-ouvrière O , qui s'engage dans une lunette qu'a le corps de voiture, et forme l'articulation des deux trains.

De ces dispositions résulte que le timon n'a pas besoin d'être soutenu par les chevaux de derrière, et que si les cahots tendent à rapprocher du sol l'extrémité b , le corps de voiture exerce en a une réaction qui prévient cet effet. Mais, pour qu'il en soit ainsi, la pression de bas en haut que produit la pièce de contre-appui sur AB , doit toujours être incapable de faire tourner l'arrière-train autour de son essieu. Nous ne dirons pas maintenant comment on remplit cette condition; la voiture sera supposée bien construite, c'est-à-dire telle que son timon soit convenablement soutenu, et nous chercherons, d'abord pour le cas où elle est attelée de deux chevaux seulement, la puissance qu'il faut appliquer à l'avant-train, suivant une direction déterminée par le tracé, pour entretenir le mouvement uniforme, sur un sol horizontal et pénétrable.

72. L'arrière-train est tiré par l'avant-train dont la cheville-ouvrière presse la paroi de la lunette. Nominons Q , l'effort qu'exerce cette cheville pour faire équilibre aux résistances qui s'opposent au mouvement du corps de voiture. La direction de Q , toujours normale à la paroi de la lunette, est ordinairement parallèle au sol; mais pour embrasser tous les cas possibles, nous supposerons qu'elle fait un angle φ' avec l'horizontale.

Soient P , le poids du corps de voiture et de son chargement, p , celui des roues de derrière, P_1'' la pression sur la selette, p'' celle de la pièce de contre-appui, P_1' et q , les composantes rectangulaires de la pression des fusées sur les boîtes; a' , d' , l'

les bras de levier des forces P_1 , Q_1 , P_1'' , et c la distance horizontale de la cheville à l'axe de l'essieu d'avant-train. Le bras de levier de p'' , par rapport à l'essieu de derrière, sera $l' - c$, et si, pour ne pas compliquer les formules, nous négligeons d'abord le frottement des fusées, ainsi que celui de la cheville-ouvrière, nous aurons pour les conditions d'équilibre de l'arrière-train autour de l'axe de son essieu (65)

$$\begin{aligned} Q_1 \cos \varphi' - q_1 &= 0, \\ P_1 - P_1' - P_1'' - Q_1 \sin \varphi' - p'' &= 0, \\ Q_1 d' + P_1 d' - P_1'' l' - p'' (l' - c) &= 0. \end{aligned}$$

Ces équations donnent

$$\begin{aligned} q_1 &= Q_1 \cos \varphi', & P_1'' &= \frac{Q_1 d' + P_1 d' - p'' (l' - c)}{l'}, \\ P_1' &= P_1 \frac{l' - d'}{l'} - Q_1 \left(\sin \varphi' + \frac{d'}{l'} \right) - p'' \frac{c}{l'}. \end{aligned}$$

Il s'ensuit que le frottement de l'essieu est

$$f' \left\{ d' \left[P_1 \frac{l' - d'}{l'} - Q_1 \left(\sin \varphi' + \frac{d'}{l'} \right) - p'' \frac{c}{l'} \right] + \beta' Q_1 \cos \varphi' \right\},$$

et celui du roulement,

$$\frac{A}{R'} \left[p_1 + P_1 \frac{l' - d'}{l'} - Q_1 \left(\sin \varphi' + \frac{d'}{l'} \right) - p'' \frac{c}{l'} \right].$$

Considérant donc le mouvement virtuel de l'arrière-train, et représentant par E_1 l'effet du sol sur les faces verticales des jantes, nous aurons, si e' est la demi-hauteur de la partie engagée de ces faces,

$$\begin{aligned} Q_1 k \cos \varphi' - k \frac{r'}{R'} f' \left\{ d' \left[P_1 \frac{l' - d'}{l'} - Q_1 \left(\sin \varphi' + \frac{d'}{l'} \right) - p'' \frac{c}{l'} \right] + \beta' Q_1 \cos \varphi' \right\} \\ - k \frac{A}{R'} \left[p_1 + P_1 \frac{l' - d'}{l'} - Q_1 \left(\sin \varphi' + \frac{d'}{l'} \right) - p'' \frac{c}{l'} \right] - k E_1 \frac{R' - e'}{R'} &= 0, \end{aligned}$$

et par suite

$$Q_1 = \frac{r' f' d' \left(P_1 \frac{l' - d'}{l'} - p'' \frac{c}{l'} \right) + A \left(p_1 + P_1 \frac{l' - d'}{l'} - p'' \frac{c}{l'} \right) + E_1 (R' - e')}{R' \cos \varphi' + A \sin \varphi' + A \frac{d'}{l'} + r' f' \left[d' \left(\sin \varphi' + \frac{d'}{l'} \right) - \beta' \cos \varphi' \right]}. \quad (1)$$

75. L'avant-train peut être regardé aussi comme une voiture à deux roues; mais outre le poids P de cette voiture et de son chargement, moins les roues, la selette supporte une pression P_1'' , et la pièce de contre-appui une pression p'' ; de plus, la réaction Q_1 de l'arrière-train s'oppose au mouvement, et la pression P'' sur les chevaux est nulle. Prenant donc ces nouvelles circonstances en considération et conservant la notation du n° 65, nous aurons pour conditions de l'équilibre autour de l'axe de l'essieu, si d'' représente la distance de cet axe à la direction de Q_1 ,

$$Q \cos \varphi - q - Q_1 \cos \varphi' = 0,$$

$$P + P_1'' + p'' - P' - Q \sin \varphi + Q_1 \sin \varphi' = 0,$$

$$Qd + Pa - p''c - Q_1 d'' = 0.$$

Ces équations donnent

$$q = Q \cos \varphi - Q_1 \cos \varphi', \quad p'' = \frac{Qd + Pa - Q_1 d''}{c},$$

$$P' = P + P_1'' + p'' - Q \sin \varphi + Q_1 \sin \varphi'.$$

Substituant à P_1'' la valeur qu'a cette pression dans l'arrière-train, on trouve

$$P' = P \frac{l' + a}{l'} + P_1 \frac{a'}{l'} - Q \left(\sin \varphi - \frac{d}{l'} \right) + Q_1 \left(\sin \varphi' - \frac{d'' - d'}{l'} \right).$$

Le frottement de glissement et celui de roulement seront donc

$$\bullet \left\{ \left[P \frac{l' + a}{l'} + P_1 \frac{a'}{l'} - Q \left(\sin \varphi - \frac{d}{l'} \right) + Q_1 \left(\sin \varphi' - \frac{d'' - d'}{l'} \right) \right] + \beta (Q \cos \varphi - Q_1 \cos \varphi') \right\},$$

$$\frac{A}{R} \left[P + P \frac{l' + a}{l'} + P_1 \frac{a'}{l'} - Q \left(\sin \varphi - \frac{d}{l'} \right) + Q_1 \left(\sin \varphi' - \frac{d'' - d'}{l'} \right) \right],$$

et le mouvement virtuel fournira l'équation

$$\begin{aligned} & Qk \cos \varphi - Q_1 k \cos \varphi' \\ & - k \frac{r}{R} \left\{ \left[P \frac{l' + a}{l'} + P_1 \frac{a'}{l'} - Q \left(\sin \varphi - \frac{d}{l'} \right) + Q_1 \left(\sin \varphi' - \frac{d'' - d'}{l'} \right) \right] + \beta (Q \cos \varphi - Q_1 \cos \varphi') \right\} \\ & - k \frac{A}{R} \left[P + P \frac{l' + a}{l'} + P_1 \frac{a'}{l'} - Q \left(\sin \varphi - \frac{d}{l'} \right) + Q_1 \left(\sin \varphi' - \frac{d'' - d'}{l'} \right) \right] \\ & - kE \frac{R - e}{R} = 0; \end{aligned}$$

on en tire

$$Q = \frac{1}{D'} \left\{ Q_1 \left[R \cos \varphi' + r f' a \left(\sin \varphi' - \frac{d'' - d'}{l'} \right) - r f' \beta \cos \varphi' + A \left(\sin \varphi' - \frac{d'' - d'}{l'} \right) \right] \right. \\ \left. + r f' a \left(p \frac{l' + a}{l'} + P_1 \frac{a'}{l'} \right) + A \left(p + P \frac{l' + a}{l'} + P_1 \frac{a'}{l'} \right) + E(R - e) \right\}, \quad (II)$$

si $D' = R \cos \varphi + r f' a \left(\sin \varphi - \frac{d}{l'} \right) - r f' \beta \cos \varphi + A \left(\sin \varphi - \frac{d}{l'} \right)$.

74. L'équation (II) rend la valeur de Q dépendante de Q_1 et comme l'équation (I) renferme p'' qui est fonction de Q_1 et de Q_1 , il faudrait, pour que la valeur de Q_1 devint indépendante de Q , y substituer à cet effort, le second membre de l'équation (II). Mais on arriverait ainsi à une formule très-compiquée. Afin d'en obtenir une plus simple et pourtant suffisamment exacte, nous supposerons que Q et Q_1 se fassent équilibre autour de l'axe de l'essieu d'avant-train, ce qui donnera

$$Qd = Q_1 d'', \quad p'' = \frac{Pa}{c},$$

et

$$Q_1 = \frac{r f' a' \left(P_1 \frac{l' - d'}{l'} - P \frac{a}{l'} \right) + A \left(p_1 + P_1 \frac{l' - d'}{l'} - P \frac{a}{l'} \right) + E_1(R' - e')}{R' \cos \varphi' + A \sin \varphi' + A \frac{d'}{l'} + r f' \left[a' \left(\sin \varphi' + \frac{d'}{l'} \right) - \beta' \cos \varphi' \right]}. \quad (III)$$

75. Les équations (III) et (II) se simplifient quand on considère le cas ordinaire où la traction de l'arrière-train se fait parallèlement au sol; alors $\varphi' = 0$ et l'on a

$$Q_1 = \frac{r f' a' \left(P_1 \frac{l' - d'}{l'} - P \frac{a}{l'} \right) + A \left(p_1 + P_1 \frac{l' - d'}{l'} - P \frac{a}{l'} \right) + E_1(R' - e')}{R' + A \frac{d'}{l'} + r f' a' \left(\frac{d'}{l'} - \beta' \right)}, \quad (IV)$$

$$Q = \frac{1}{D'} \left\{ Q_1 \left[R + r f' \left(a \frac{d' - d''}{l'} - \beta \right) + A \frac{d' - d''}{l'} \right] + r f' a \left(P \frac{l' + a}{l'} + P_1 \frac{a'}{l'} \right) \right. \\ \left. + A \left(p + P \frac{l' + a}{l'} + P_1 \frac{a'}{l'} \right) + E(R - e) \right\}. \quad (V)$$

Mais, pour les voitures d'artillerie, le frottement des essieux peut être négligé, puisqu'ils sont toujours en fer et les boîtes

en cuivre (46). Nous obtiendrons donc légitimement un nouveau degré de simplicité, en faisant $f' = 0$. Les équations (IV) et (V) deviennent par là

$$Q_1 = \frac{A \left(p_1 + P_1 \frac{l' - d'}{l'} - P \frac{a}{l'} \right) + E_1 (R' - d')}{R' + A \frac{d'}{l'}}, \quad (\text{VI})$$

$$Q = \frac{Q_1 \left(R + A \frac{d' - d''}{l'} \right) + A \left(p + P \frac{l' + a}{l'} + P_1 \frac{a'}{l'} \right) + E (R - e)}{R \cos \varphi + A \left(\sin \varphi - \frac{d'}{l'} \right)}. \quad (\text{VII})$$

76. Dans le nouveau matériel de siège, les deux trains ont les mêmes roues, $R' = R$, $p_1 = p$, et parce que $\frac{d'}{l'}$ est alors nécessairement fort petit, $R' + A \frac{d'}{l'}$ diffère très-peu de $R + A \frac{d' - d''}{l'}$, bien que $d' - d'' = 0$. Si donc nous substituons à Q_1 sa valeur (VI), dans l'équation (VII), il viendra

$$Q = \frac{A (2p + P + P_1) + E (R - e) + E_1 (R - e')}{R \cos \varphi + A \left(\sin \varphi - \frac{d'}{l'} \right)}, \quad (\text{VIII})$$

valeur approximative très-simple de l'effort qui doit être exercé sur l'avant-train des voitures de siège. Il est visible d'ailleurs qu'on ne pourrait y faire $E_1 = E$, $e' = e$, puisque ces quantités dépendent de la pénétration des roues dans le sol (55), et que cette pénétration variant avec la charge de l'essieu, n'est pas la même pour les roues des deux trains, bien qu'elles soient égales.

Mais si le terrain, au lieu d'être pénétrable, avait seulement une surface molle (47), les roues n'y feraient qu'une faible impression, E , E_1 seraient nuls, et l'on aurait, pour les voitures de siège à deux trains,

$$Q = \frac{A (2p + P + P_1)}{R \cos \varphi + A \left(\sin \varphi - \frac{d'}{l'} \right)}. \quad (\text{IX})$$

77. La position de la cheville-ouvrière n'est pas la même

dans toutes les voitures : il en est quelques-unes où cette cheville se trouve au-dessus de l'essieu d'avant-train, au lieu d'être en arrière comme dans les autres. Or, pour une valeur donnée de l'angle φ' , le bras de levier d' de l'effort exercé sur l'arrière-train, diminue évidemment, à mesure que l'articulation des deux parties de la voiture s'éloigne de l'essieu de derrière. Il peut même arriver que d' soit nul ou négatif, c'est-à-dire que la perpendiculaire à la surface selon laquelle se touchent la cheville et la lunette, passe par l'axe de l'essieu d'arrière-train ou au-dessous de cet axe. On devra donc, pour appliquer à une voiture quelconque de l'espèce que nous considérons, les formules qui viennent d'être établies, tenir compte du signe de d' , et cela suffira, car d'' la seule des autres quantités sur laquelle la position de la cheville-ouvrière puisse influer, ne saurait devenir négative.

VOITURES A SUPPORT.

78. L'avant-train des voitures à support n'a pas de pièce de contre-appui, puisque les chevaux le soutiennent en avant de l'essieu, et l'arrière-train repose par son extrémité antérieure, sur la pièce qui porte la cheville-ouvrière. Comme cette dernière disposition ne peut influer que sur l'équilibre de l'avant-train, il suffit d'avoir égard à la première pour celui du corps de voiture. Or, la pièce de contre-appui manquant, il est clair que la pression p'' qu'elle supportait, doit disparaître. Si donc nous faisons $p'' = 0$ dans l'équation (I) du n° 72 nous obtenons immédiatement, pour l'effort que nécessite l'arrière-train d'une voiture à support,

$$Q_1 = \frac{r' f' \alpha' P_1 \frac{l' - d'}{l'} + A \left(p_1 + P_1 \frac{l' - d'}{l'} \right) + E_1 (R' - d')}{R' \cos \varphi' + A \sin \varphi' + A \frac{d''}{l'} + r' f' \left[\alpha' \left(\sin \varphi' + \frac{d''}{l'} \right) - \beta' \cos \varphi' \right]} \quad (I)$$

Quant à l'avant-train, la pression qu'il éprouve, par suite de l'appui qu'y prend le corps de voiture, se trouve augmentée, et sa valeur se déduit de celle qu'elle a dans le n° 72, moyennant qu'on y fasse $p'' = 0$. Il en résulte

$$P_1'' = \frac{P_1 d' + Q_1 d''}{l'}$$

force dont le bras de levier est la distance c de l'axe de l'essieu à celui de la cheville-ouvrière.

Imitant donc ce qui a été fait dans le n° 73 et représentant par l , le bras de levier de la charge P'' des chevaux, nous aurons successivement

$$Q \cos \varphi - q - Q_1 \cos \varphi' = 0,$$

$$P + P_1'' - P' - P'' - Q \sin \varphi + Q_1 \sin \varphi' = 0,$$

$$Qd + Pa - P''l - P_1''c - Q_1d'' = 0,$$

$$q = Q \cos \varphi - Q_1 \cos \varphi',$$

$$P'' = \frac{1}{l} \left[Pa + Qd - Q_1d'' - \frac{c}{l} (P_1a' + Q_1d') \right],$$

$$P' = \frac{1}{l} \left[P(l-a) + P_1a' \frac{l+c}{l'} \right] - Q \left(\sin \varphi + \frac{d}{l} \right) + Q_1 \left(\sin \varphi' + \frac{d'}{l'} + \frac{d''}{l} + \frac{d'c}{l'l'} \right),$$

$$Q = \frac{1}{D} \left\{ Q_1 \left\{ R \cos \varphi' + r f' a \left(\sin \varphi' + \frac{d'}{l'} + \frac{d''}{l} \right) - r f' \beta \cos \varphi' \right\} + A \left(\sin \varphi' + \frac{d'}{l'} + \frac{d''}{l} \right) + r f' a \left(P \frac{l-a}{l} + P_1a' \frac{l+c}{l'} \right) + A \left(p + P \frac{l-a}{l} + P_1a' \frac{l+c}{l'} \right) + E(R-e) \right\}, \quad (II)$$

$$D = R \cos \varphi + A \left(\sin \varphi + \frac{d}{l} \right) + r f' \left[a \left(\sin \varphi + \frac{d}{l} \right) - \beta \cos \varphi \right].$$

Comme la quantité $d' \frac{l+c}{l'l'}$ est tout-à-fait négligeable, l'équation (II) se réduit à

$$Q = \frac{1}{D} \left\{ Q_1 \left[R \cos \varphi' + r f' a \left(\sin \varphi' + \frac{d'}{l'} \right) - r f' \beta \cos \varphi' + A \left(\sin \varphi' + \frac{d'}{l'} \right) \right] + r f' a \left(P \frac{l-a}{l} + P_1a' \frac{l+c}{l'} \right) + A \left(p + P \frac{l-a}{l} + P_1a' \frac{l+c}{l'} \right) + E(R-e) \right\}. \quad (III)$$

79. Les équations (I) et (III) se simplifient beaucoup, quand on néglige le faible frottement des essieux, et qu'on fait $\varphi' = 0$,

hypothèse qui diffère très-peu de la réalité. Elles deviennent alors

$$Q_1 = \frac{A(p_1 + P_1 \frac{l'_1 - d'_1}{l'_1}) + E_1(R'_1 - e'_1)}{R'_1 + A \frac{d'_1}{l'_1}} \quad (IV)$$

$$Q = \frac{Q_1(R + A \frac{d''}{l}) + A(p + P \frac{l-a}{l} + P_1 \frac{l'+c}{l'_1}) + E(R-e)}{R \cos \varphi + A(\sin \varphi + \frac{d}{l})} \quad (V)$$

Mais dans les voitures à support, les roues des deux trains sont égales, $R' = R$, $p_1 = p$; d'ailleurs les fractions $\frac{d'_1}{l'_1}$, $\frac{d''}{l}$ diffèrent extrêmement peu. Si donc nous les supposons égales, nous obtiendrons pour valeur approximative de l'effort à exercer sur l'avant-train,

$$Q = \frac{A[2p + P + P_1 - \frac{1}{l}(Pa - P_1 \frac{c}{l'})] + E(R-e) + E_1(R-e)}{R \cos \varphi + A(\sin \varphi + \frac{d}{l})} \quad (VI)$$

80. Les formules qui viennent d'être établies pour les voitures à quatre roues, serviront soit à calculer l'effort Q , quand toutes les quantités du second membre seront données, soit à déterminer une de ces quantités, lorsque la puissance de l'attelage sera connue. Mais dans le premier cas même, on devra évaluer cette puissance, afin de pouvoir la comparer à l'effort déduit des formules et juger de sa convenance. Si, comme nous l'avons supposé jusqu'ici, la voiture était attelée de deux chevaux seulement, la puissance serait la somme des efforts moyens de ces moteurs (12). Si, comme dans les circonstances ordinaires, l'attelage est plus nombreux, il faudra pour en trouver la puissance, recourir au n° 40, toutes les fois que les chevaux tireront sur les colliers de ceux qui les suivent, et ce sera la tension des traits attachés à la volée qu'on devra comparer à Q ou mettre à la place de cette quantité.

Il y a lieu d'agir ainsi non-seulement pour les voitures à support (37), mais encore pour les voitures à contre-appui du matériel de campagne, car on y a supprimé la volée de timon qu'employait *Gribeauval* afin de rendre indépendans les chevaux de derrière. Mais cette volée a été conservée dans les voitures spéciales du matériel de siège. Il faudra donc, pour une telle voiture, calculer, d'après le polygone funiculaire (40), l'effort Q' des chevaux de devant et la direction de cet effort, puis déterminer la résultante de Q' et de Q'' , effort des chevaux de derrière, dont la direction est connue. Cette résultante sera la force qui devra remplacer Q ou lui être comparée.

Nous supposons ici, comme nous l'avons fait pour tous les calculs relatifs aux voitures à quatre roues, que les actions des deux files de chevaux constituent une force unique dirigée dans le plan de symétrie de la machine; mais c'est ce qui a lieu effectivement, quand tous les chevaux tirent à plein collier ou qu'il y a de l'harmonie dans leurs efforts.

81. Les cas où une voiture à quatre roues monte et descend une rampe, nous paraissent pouvoir être passés sous silence, après la complète discussion du mouvement sur un terrain horizontal et ce qui a été dit du roulement des roues (58) et du mouvement des voitures à un seul train sur un sol incliné (67).

82. Nous terminerons donc cet article par quelques mots sur l'emploi des formules relatives aux voitures. Malgré le grand nombre de termes des plus générales, on voit à l'inspection seule que le calcul en est facile. Plusieurs des quantités qu'elles renferment sont données par les tables de construction ou peuvent en être aisément déduites. Rien n'entravera donc leur application quand on connaîtra A , E , α , β . Il y a lieu de croire que les deux premières seront bientôt déterminées pour les terrains les plus ordinaires: M. le capitaine *Morin* se propose d'appliquer au tirage des voitures, l'ingénieux mécanisme qui lui a procuré des résultats d'une exactitude mathématique pour les frottemens.

Quant aux valeurs α , β qui permettent d'exprimer sans radical, la résultante de deux forces concourantes, elles ont été calculées par M. le capitaine *Gosselin*, d'après le théorème de M. *Poncelet*: en voici le tableau pour deux forces rectangulaires P' , q .

RELATION de P' et q .	VALEUR de α .	VALEUR de β .	MAXIMUM de l'erreur.
P' et q quelconques.	0,828 40	0,828 40	$1/6$
$P' > q$	0,960 46	0,397 83	$1/25$
$P' > 2q$	0,985 92	0,232 70	$1/71$
$P' > 3q$	0,993 50	0,161 23	$1/154$
$P' > 4q$	0,996 25	0,122 60	$1/266$
$P' > 5q$	0,997 57	0,098 78	$1/417$
$P' > 6q$	0,998 26	0,082 61	$1/589$
$P' > 7q$	0,998 75	0,070 98	$1/800$
$P' > 8q$	0,999 05	0,062 20	$1/1048$
$P' > 9q$	0,999 30	0,055 35	$1/1428$
$P' > 10q$	0,999 35	0,049 84	$1/1538$

La quatrième colonne indique ce que peut être au plus l'erreur commise, quand on prend $\alpha P' + \beta q$ pour valeur de $\sqrt{P'^2 + q^2}$, et elle fait voir que cette erreur diminue rapidement, à mesure que le rapport de P' à q augmente. Or, sur les routes ordinaires (16), ce rapport est au-dessus de 20; par conséquent l'erreur se trouve alors bien inférieure à $\frac{1}{1428}$. Dans les mauvais chemins, le même rapport surpasse 9, et l'erreur reste au-dessous de $\frac{1}{1428}$. Enfin, P' vaut au moins 5 q dans les chemins les plus difficiles, et l'erreur est encore moindre que $\frac{1}{417}$. On voit donc que, pour tous les cas, on peut avec confiance substituer $\alpha P' + \beta q$ à $\sqrt{P'^2 + q^2}$.

PRINCIPES DU TRACE.

Nous devons maintenant faire pour les voitures à quatre roues, ce qui a été fait pour les voitures à deux roues, dans les nos 66 et 67, c'est-à-dire établir explicitement les principes de construction qui résultent des formules.

Les valeurs des efforts qu'exigent les deux trains (78), mettent en évidence que les rayons des roues et des essieux ont une grande influence sur la facilité du tirage; mais cette influence a été assez examinée dans la quatrième section du premier chapitre, pour qu'il soit superflu d'y revenir. Il nous reste donc à considérer ce qui peut résulter des variations de l'angle sous lequel se fait la traction, de la position du centre de gravité de chaque train, de la position donnée à l'articulation des deux parties de la voiture, de celle du point où sont attachés les traits, de la distance des essieux, et enfin du mode employé pour soutenir le timon.

ANGLE DE TRACTION.

83. Si l'on différentie les valeurs générales de Q , Q , (73 et 78), après y avoir fait $f' = 0$, pour négliger le faible frottement des essieux, on trouve que leur minimum répond à

$$\text{tang } \varphi = \frac{A}{R}, \quad \text{tang } \varphi' = \frac{A}{R'},$$

comme dans les voitures à un seul train (66).

Il sera facile de remplir la première condition, lorsque A sera connu. Quant à la seconde, moins importante puisque Q , est moindre que Q , on ne cherche pas à la satisfaire; on préfère donner plus de simplicité à la construction, en rendant presque horizontale la normale à la surface intérieure de la lunette, selon laquelle se fait la traction de l'arrière-train.

POSITIONS DES CENTRES DE GRAVITÉ.

84. Le poids total $P + P$, des deux trains, les roues exceptées, dépend du fardeau et de la solidité que doit avoir la voiture; il ne varie pas sensiblement avec le tracé. La position du centre de gravité de chaque train ne peut donc influer sur le tirage qu'en modifiant la répartition de ce poids sur les deux essieux.

Si, par exemple, on augmente la distance horizontale a' du centre de gravité de l'arrière-train à l'axe du dernier essieu, la charge du premier augmente précisément d'autant que celle de l'autre diminue, comme le montre les valeurs de P , P .

L'accroissement de a , distance du centre de gravité de l'avant-train à l'axe de l'essieu, augmente la quantité $P \frac{a}{l'}$ et par suite la charge P' de cet essieu dans les voitures à contre-appui. Mais la même quantité entre avec le signe — dans la charge P_1' du second essieu, si l'on y substitue à p'' sa valeur.

Dans les voitures à support, a n'a aucune influence sur la charge du second essieu, car

$$P_1' = P_1 \frac{l'' - a'}{l''} - Q, \left(\sin \varphi + \frac{d''}{l''} \right);$$

mais P' , celle du premier, renferme la quantité $P \frac{a}{l'}$ affectée du signe —, et diminue quand a augmente: en revanche, la pression P'' que supportent les chevaux de timon, s'accroît d'autant.

Si maintenant on remarque que ce sont les roues de devant qui forment les ornières et qui ont le moins de puissance (48) dans les voitures à contre-appui, on verra que les centres de gravité doivent être placés par rapport aux essieux de ces voitures, de manière que la répartition des poids charge moins l'avant-train que l'arrière-train.

Pour les voitures à support, il faut en outre que les positions des centres de gravité ne produisent qu'une faible pression sur les chevaux de timon.

Quant au rapport qu'il convient d'établir entre les charges des deux essieux, ce sera le sujet d'un autre article.

ARTICULATION DES DEUX TRAINS.

85. L'articulation des deux trains d'une voiture à contre-appui, peut être rapprochée ou éloignée du second essieu, élevée ou abaissée par rapport au sol, sans que l'angle φ' varie et que le bras de levier d' cesse d'être positif. Mais les charges P' , P_1' des deux essieux, n'en restent pas moins les mêmes.

En effet, d' , d'' croissent ou décroissent de la même quantité, et par suite leur différence $d'' - d'$ est invariable; d'ailleurs elle exprime la distance de deux plans menés par les axes des essieux, parallèlement à la direction de l'effort exercé sur l'arrière-train, distance qui est constante, tant que φ' ne change pas.

Or, la substitution de la valeur de p'' dans celle de P' donne

$$P'_1 = P_1 \frac{l' - d'}{l'} - \frac{Qd + Pa}{l'} + Q_1 \left(\frac{d'' - d'}{l'} - \sin \varphi' \right),$$

et aucun terme de cette expression, ni de celle de P' , ne peut varier avec la position de l'articulation.

Supposons maintenant d' négatif, d'' positif et φ' toujours invariable. Les variations de d' et d'' seront encore sans effet sur les deux pressions. Alors effectivement $d'' - d'$ devient $d'' + d'$, somme constante qui représente aussi la distance de deux plans fixes.

S'il arrivait que d' , d'' fussent négatifs à la fois, $d'' - d'$ deviendrait $d' - d''$, quantité qui serait invariable comme $d'' - d'$ et pour les mêmes raisons. Donc, en aucun cas, un changement dans la position de l'articulation des deux trains, ne peut faire varier l'influence de l'effort Q_1 sur les charges des essieux d'une voiture à contre-appui.

86. Il est tout aussi facile de reconnaître, d'après les valeurs des pressions (78), que, dans les voitures à support, le rapprochement et l'exhaussement de l'articulation, diminue la charge P'_1 du second essieu, augmente celle P' du premier essieu, et diminue la pression P'' supportée par les chevaux de timon, tandis que l'éloignement ou l'abaissement produisent des effets inverses. Alors en effet la distance c de l'articulation à l'axe du premier essieu, varie comme d' , d'' , par suite du rapprochement ou de l'éloignement, et ces trois quantités sont facteurs de termes positifs dans P' et de termes négatifs dans P'' .

Ainsi, pour soulager l'essieu de devant, il faudrait que l'articulation fût peu élevée et assez éloignée du second essieu, et pour l'allègement de la charge des chevaux, l'articulation devrait être aussi élevée et aussi rapprochée du second essieu qu'il serait possible. Ces conditions contradictoires seront convenablement remplies, si les distances c , d' , d'' sont réglées de manière que la charge des chevaux soit aussi grande qu'elle peut être sans leur nuire.

87. On vient de voir qu'un changement de position dans l'articulation ne fait point varier l'influence de Q_1 sur les charges des essieux d'une voiture à contre-appui; nous allons montrer

maintenant que cette influence est assez faible pour qu'on puisse même la négliger.

En effet, quand la traction de l'arrière-train se fait parallèlement au sol, ce qui est le cas ordinaire, $\varphi = 0$, le dernier terme de la charge P' du premier essieu d'une voiture à contre-appui devient $-Q, \frac{d'' - d'}{l'}$, et celui de la charge P_1' du second essieu est simplement $Q, \frac{d'' - d'}{l'}$. Or alors d' , d'' sont des distances verticales, si le terrain est horizontal, et

$$R' + d' = R + d'' \quad \text{ou} \quad d'' - d' = R' - R.$$

L'égalité des roues fait donc disparaître le dernier terme de la charge de chaque essieu, et par conséquent, dans les voitures à contre-appui dont les roues ont même hauteur, l'essieu de devant est un peu plus chargé et celui de derrière l'est un peu moins que dans celles qui ont des roues inégales.

Mais la différence n'a guère d'importance, car dans l'artillerie de campagne de *Gribeauval*, par exemple, on avait $\frac{R' - R}{l'} = 0,054$; le rapport des pressions sur les deux essieux était à-peu-près celui de 2 à 1, et conséquemment, des six chevaux attelés à la voiture, quatre se trouvaient employés à produire l'effort Q . Cet effort valait donc environ $75^{\text{ks}} \times 4 = 300^{\text{ks}}$, et il s'ensuivait $Q, \frac{d'' - d'}{l'} = 300^{\text{ks}} \times 0,054 = 16^{\text{ks}},2$, allègement insignifiant pour l'essieu de devant, et surcharge négligeable pour l'essieu de derrière.

Dans les voitures à support, l'égalité des roues est favorable à l'essieu de l'avant-train, car elle rend d'' moins grand que ne le fait l'inégalité. Quant à la charge P'' des chevaux, elle diminue à la vérité lorsque d'' augmente; mais ce n'est point par cette considération qu'on doit la régler, attendu que Q est sujet à de grandes variations.

Une application à l'affût de siège de l'artillerie *Gribeauval* fera juger combien il est important pour la facilité du tirage, de réduire d' et d'' dans les voitures à support et à roues inégales. Cet affût qui avait un avant-train à bras de limonière, donnait

$c = 0$, parce que la lunette était au-dessus du premier essieu, et par conséquent, le dernier terme de la charge P' de cet essieu, se réduisait à $Q_1 \left(\frac{d'}{l'} + \frac{d''}{l} \right)$. Or, un calcul approximatif montre que le coefficient de Q_1 valait 0,2.

POINT D'ATTACHE DES TRAITs.

88. La position du point de l'avant-train où sont attachés les traits des chevaux de timon, n'a d'influence que sur la distance d de la direction de ces traits à l'axe du premier essieu. Pour une valeur donnée de l'angle φ , d croît quand le point d'attache se rapproche de l'essieu, en conservant son élévation au-dessus du sol, et d décroît quand le même point s'écarte. Or, dans les voitures à contre-appui (72 et 73), l'augmentation de d en cause une dans la pression p'' que supporte ce contre-appui et dans la charge P' du premier essieu, tandis qu'elle diminue la pression P_1'' exercée sur la selette et la charge P_1' du second essieu; la diminution de d produit des effets tout contraires. Ce sera donc en éloignant de l'essieu d'avant-train, le point d'attache des traits, qu'on allégera la charge de cet essieu, pour une position déterminée du centre de gravité (84).

Dans les voitures à support, c'est l'opposé : on rend moindre la charge P' du premier essieu, en rapprochant le point d'attache des traits; car P' diminue quand d augmente (78), et augmente quand d diminue. Mais la pression P'' que supportent les chevaux, éprouve des variations inverses, de sorte que la distance horizontale du point d'attache à l'axe de l'essieu d'avant-train, doit être seulement aussi petite que le permet la limite de la charge des chevaux.

Quant aux pressions qu'exerce l'arrière-train sur son essieu et sur l'avant-train, elles sont indépendantes de d , et par suite, de la position du point d'attache.

DISTANCE DES ESSIEUX.

89. La distance l' qui sépare les axes des deux essieux, n'entrant pas dans la valeur de la pression p'' que supporte la pièce de contre-appui (73), n'a aucune influence sur cette pression; mais si elle augmente ou diminue, la charge P_1' du

second essieu (72) en fait autant, et la pression P_1'' , ainsi que la charge P' du premier essieu, font l'inverse. Comme d'ailleurs les termes qui varient dans P' , P_1' ont respectivement la même grandeur et des signes contraires (85), il est clair que l'une de ces charges croît autant que l'autre décroît.

On conclut de là que l'écartement des essieux d'une voiture à contre-appui a deux limites au-delà desquelles l'un ou l'autre essieu se trouve trop chargé, et le tirage plus pénible.

Dans les voitures à support, la pression P_1'' de l'arrière-train sur l'avant-train et la charge P' du premier essieu éprouvent des variations contraires à celles de l'' , tandis que la charge P_1' du second essieu (84) et P'' celle des chevaux (78), varient dans le même sens que cette distance. La distance l'' a donc encore ici deux limites. Nous verrons plus loin comment on les détermine.

90. Du rapprochement des quatre derniers articles résulte ce principe général, que les diverses modifications qu'on peut faire subir au tracé d'une voiture à quatre roues, ont uniquement pour effet de changer la répartition de la pression totale sur les deux trains, pression dont la valeur est

$$P' + P_1' = P_1 + P - Q \sin \varphi$$

quand il y a contre-appui, et

$$P' + P_1' + P'' = P_1 + P - Q \sin \varphi$$

dans le cas d'un support.

Mais c'est seulement par des applications numériques qu'on peut apprécier la charge qu'une modification déterminée reporte d'un train sur l'autre. De telles applications sont faciles : lorsque l'on connaît les quantités A , E relatives à la résistance du sol, les formules précédemment établies donneront les puissances Q , Q_1 qui entrent dans les valeurs des pressions ; tant que A , E resteront inconnues, on prendra pour Q la résultante des efforts exercés par les chevaux attelés, et l'on en déduira Q_1 (87).

CENTRE DE GRAVITÉ DE LA CHARGE TOTALE.

91. Les articles précédents ont montré que les modifications du tracé des voitures à quatre roues produisent, dans les charges des essieux, deux sortes de variations : les unes proviennent de

la pesanteur, dépendent de la position qu'a le centre de gravité de chaque train, et se manifestent aussi bien dans le repos que dans le mouvement; les autres, qui n'ont lieu que pendant le roulement de la voiture, sont dues à la force de traction. Comme ces dernières restent toujours bien inférieures aux premières, ce sont les distances par lesquelles se trouvent déterminées les positions des deux centres de gravité, qui ont le plus d'influence sur le tirage.

Aussi, la marche la plus simple à suivre, pour établir le tracé d'une voiture en projet, est-elle de satisfaire d'abord aux convenances du service, dans le cas du repos; d'apprécier ensuite approximativement, d'après ces premières bases, l'influence des efforts Q , Q' , sur les charges des essieux, et de placer enfin les centres de gravité des deux trains de manière que les charges laissent au tirage toute la facilité possible. Or, les positions de ces centres, ou le rapport convenable des charges, dépend évidemment du point qu'occupe le centre de gravité du poids total. C'est donc de la détermination de ce point qu'il faut maintenant traiter.

Nous montrerons premièrement qu'au lieu de faire supporter tout le poids par un seul essieu, il convient de le répartir sur les quatre roues; nous établirons même à cet effet, que le tirage est d'autant plus facile que les roues sont plus nombreuses. Comme chacune supporte alors une charge moins grande, ses dimensions et son poids doivent être moindres; de sorte que la pression sur le sol ne change pas beaucoup et que la résistance qui en résulte n'augmente pas notablement. Mais la fatigue de l'attelage est évidemment diminuée, toutes les fois que la route présente des aspérités, car le moteur n'a plus besoin de consommer autant de quantité d'action pour surmonter les obstacles. Il est vrai que plus on a de roues et plus on rencontre d'obstacles, de façon qu'il peut bien arriver que la somme des quantités d'action dépensées soit la même dans le cas d'un certain nombre de roues, que dans le cas d'un nombre moindre. Mais, il reste toujours cet avantage qu'à chaque obstacle le moteur dépense une moindre quantité d'action ou fait un moindre effort, comme si, dans une voiture d'un nombre de roues donné, on augmentait les diamètres de ces roues.

Supposons en second lieu qu'une seule roue supporte une certaine charge ; tout choc de cette roue contre un obstacle produira un changement brusque de vitesse dans toute la masse du système, et la perte de force vive qui en résultera, sera proportionnelle au poids total ; tandis que dans le cas où la même charge serait répartie sur plusieurs roues, le choc de chacune occasionnerait une perte de force vive proportionnelle à une portion seulement du poids total. Si l'on objecte que la somme des pertes pourra, au bout d'un certain trajet, se trouver la même, soit qu'on emploie une seule roue, soit qu'il y en ait plusieurs, nous répondrons, comme précédemment, que la perte occasionnée par chaque choc sera moindre dans le second cas, et que le moteur aura moins d'effort à exercer dans un instant donné, pour restituer la vitesse perdue.

On voit par là que les voitures à quatre roues ont l'avantage sur les voitures à deux roues, pour ce qui est du tirage. Les premières sont aussi à préférer aux secondes sous le rapport de la conservation des routes, puisque leurs ornières sont les moins profondes ; et ce n'est pas seulement dans l'intérêt public que l'artillerie doit éviter de dégrader les chemins ; elle le doit encore pour ménager ses attelages, car si les premières voitures d'un parc produisent des ornières et des trous, la traction des dernières devient difficile.

92. Aux raisonnemens que nous venons de faire pour établir l'influence du nombre des roues sur le tirage, nous ajouterons les résultats de plusieurs expériences qui ont été faites pour la constater et l'apprécier. D'après ce qu'on lit de celles de *Désaguiers*, au tome II du journal de l'école Polytechnique, on peut conclure qu'une charrette exigerait trois chevaux, dans un chemin où un chariot de même poids serait trainé avec la même vitesse et la même facilité par deux chevaux seulement. *Joseph Stoops Fry*, auteur anglais qui s'est beaucoup occupé de la construction des roues, du tirage et de la conservation des routes, regarde comme un fait prouvé par une longue expérience, qu'un bon cheval peut avec un chariot transporter 350 à 400^{lb} de plus qu'avec une charrette. Il ajoute que les brasseurs de Londres qui mettaient seulement quatre barils sur leur ancien haquet à deux roues, en chargent six sur le haquet à quatre roues qu'ils ont

adopté d'après ses conseils, et que leur cheval est moins fatigué. Enfin, le même auteur cite une diligence à huit rones qui, trainée par quatre chevaux médiocres et portant trente voyageurs avec leurs bagages, parcourait en deux heures, la distance de douze milles, environ cinq lieues de poste, qui sépare Bath de Bristol.

Il est donc hors de doute qu'on rend le travail du moteur plus uniforme, qu'on facilite le tirage, en multipliant le nombre des rones et en répartissant la charge de manière que, dans une voitre donnée, chaque roue en supporte une portion qui rende l'effet d'un obstacle ou d'un choc le même qu'il serait pour toute autre.

93. Une telle répartition exige que le centre de gravité de la charge se trouve dans le plan de symétrie de la voiture, car autrement les roues d'un côté seraient plus chargées que celles de l'autre. Il faut de plus que l'effort de traction qui fait équilibre aux résistances du sol, soit le même pour l'avant-train et l'arrière-train.

Quand il en est ainsi et que le terrain ne présente point d'obstacles fixes, les charges des deux essieux doivent être entre elles à-peu-près comme $R \cos \phi$ et $R' \cos \phi'$, ainsi que le montre l'équation (II) du n° 55.

Mais dans le cas d'obstacles à vaincre, le rapport des charges est moindre que le précédent. En effet, si q représente l'effort qu'une roue d'avant-train chargée d'un poids p , exige pour surmonter un certain obstacle, et q' , l'effort qu'une roue de derrière chargée d'un poids p' , impose dans la même circonstance, on doit avoir

$$q = q' \quad \text{ou} \quad \frac{pp'}{q} = \frac{pp'}{q'} \quad \text{ou encore} \quad p' \frac{p}{q} = p' \frac{p'}{q'}$$

Mais le rapport $\frac{p}{q}$ est la puissance de la première roue (48), et $\frac{p'}{q'}$ la puissance de la seconde. Les charges des essieux devraient donc être proportionnelles aux puissances des deux roues d'un même côté.

Comme pour une position donnée du centre de gravité, les charges sont inversement proportionnelles aux distances horizontales de cette position aux axes des essieux, il est clair que

le centre de gravité de la charge totale devrait être placé dans le plan de symétrie de la voiture, de manière à partager la distance horizontale des axes des essieux en deux parties inversement proportionnelles aux puissances des deux systèmes de roues on de deux roues situées du même côté. Mais cette disposition doit être modifiée d'après les variations que les pressions des essieux auront à subir quand la voiture sera en mouvement, et aussi, comme nous le verrons bientôt, d'après des considérations déduites de la stabilité nécessaire au timon pendant les marches.

D'autres considérations s'opposent d'ailleurs à ce que la même disposition soit érigée en principe. Ce sont les roues de devant qui ouvrent les ornières, et en surmontant les premières certains obstacles, elles en diminuent la hauteur, quand elles ne les aplanissent pas tout-à-fait. Par conséquent, la traction de l'avant-train serait généralement plus difficile que celle de l'arrière-train. Il importe en outre de diminuer l'effort oblique que supporterait le timon dans les changemens de direction, effort qui pourrait en occasionner la rupture, si l'avant-train était chargé comme il vient d'être dit et que le sol se laissât pénétrer.

Ainsi, le centre de gravité doit être plus rapproché de l'essieu de derrière, que ne l'indique le rapport inverse des puissances de deux roues situées du même côté.

L'expérience avait conduit *Gribeauval* à établir le rapport de 2 à 1 entre la charge du second essieu et la charge du premier, dont les roues étaient moins grandes que celles de l'autre. Pour les voitures du nouveau système où toutes les roues sont égales, le rapport adopté est $\frac{2}{3}$.

94. La détermination de la verticale sur laquelle doit être placé le centre de gravité du poids total, exige encore que l'on considère séparément les voitures dont l'avant-train porte un chargement et celles où il n'en porte pas.

L'expérience montre que dans les premières, dont le timon est soutenu par le moteur, le centre de gravité de l'avant-train doit être situé de telle manière, que les chevaux aient à supporter seulement un poids de 10^{ks}. Quant à la position du centre de gravité de l'arrière-train, elle est déterminée par cette condition qu'un certain nombre d'hommes puisse aisément soulever la

partie antérieure du corps de voiture. Elle n'a point d'influence sensible sur le poids que portent les chevaux, attendu qu'on place le point de réunion des trains très-près de l'axe du premier essieu.

Dans les voitures dont l'arrière-train reçoit tout le chargement, il y a toujours une pièce de contre-appui, et la position du centre de gravité se détermine de manière que l'effet de la réaction qui, en certains cas, est exercée sur cette pièce par le corps de voiture, soit inférieure à l'élasticité du timon.

Nous terminerons ce qui concerne les distances horizontales du centre de gravité aux essieux, par cette observation, qu'on doit diminuer la longueur des brancards et des armons, puis augmenter leur écartement autant qu'il est possible, afin d'atténuer la portée de ces pièces, sans rien ôter à l'espace qu'exige la charge. Il faut en outre donner de la rigidité aux brancards, en plaçant une partie du fardeau en dehors de l'intervalle qui sépare les essieux.

95. Quant à l'élévation du centre de gravité, elle est tout-à-fait sans influence sur le tirage, en terrain horizontal (66). Mais dans les montées et les descentes, les charges des trains éprouvent d'autant plus de variations, que cette élévation se trouve plus grande (67). Il est donc nécessaire de placer le centre de gravité aussi près du sol qu'il est possible. On obtient d'ailleurs par là un résultat beaucoup plus important : la voiture est peu versante, c'est-à-dire que soit par le mauvais état des chemins, soit par suite d'une pente, une des roues de chaque train peut être bien plus élevée que l'autre, sans que le système soit renversé.

Supposons pour le faire voir qu'un essieu se trouve parallèle à la ligne de plus grande pente d'un plan incliné AB (fig. 18). La voiture sera seulement sur le point de verser, quand la verticale abaissée du centre de gravité passera par le point où la roue qui est le plus bas s'appuie sur le sol. Ce centre pourra donc se trouver sur la verticale CD, et par conséquent, au point D où cette verticale rencontre le plan de symétrie DE. Or, $\text{tang CDE} = \frac{EC}{DE}$, et l'angle CDE qui a ses côtés perpendiculaires à l'angle ABF, est égal à l'inclinaison du plan AB. Conséquemment, $\text{tang ABF} = \frac{EC}{ED}$,

et l'on voit par là que la pente peut être d'autant plus raide, que ED , distance du centre de gravité au sol, est plus petite, et que EC , moitié de l'écartement des deux roues d'un même train, est plus grande.

STABILITÉ DU TIMON.

96. Les aspérités et les dépressions du sol tendent à faire osciller le timon autour de la direction qu'il conserverait sur un chemin parfaitement uni. Or il importe de prévenir un tel effet, en assurant à cette pièce une position à fort peu-près stable, car de fortes oscillations gêneraient la marche des chevaux de derrière; elles pourraient même blesser ces animaux et leur conducteur.

Le mouvement oscillatoire du timon est horizontal ou vertical; mais, dans les voitures à contre-appui, le premier se trouve suffisamment empêché par la résistance qu'oppose l'avant-train à tout mouvement de rotation autour de la cheville-ouvrière. Une partie de cette résistance est due au sol; l'autre provient du frottement auquel donne lieu le glissement de certaines pièces sur celles de l'arrière-train qu'elles touchent. L'effet de ce frottement croît avec les pressions supportées par les points en contact et les distances de ces points à l'axe de la cheville-ouvrière.

Le poids de l'avant-train d'une voiture à contre-appui est le principal obstacle qu'on oppose au déplacement que peut éprouver le timon de bas en haut; son centre de gravité doit donc être toujours placé en avant du premier essieu. Le même déplacement est limité par une chaîne dite *d'embrelage*, destinée à maintenir l'union des deux trains, dans les cas où de violents cahots feraient sortir la cheville-ouvrière de la lunette, si elle pouvait y jouer librement.

Quant à l'abaissement du timon, c'est la réaction du corps de voiture sur la pièce de contre-appui qui peut seule l'empêcher, et il faut évidemment pour qu'elle soit suffisante, que la pression p'' de cette pièce ne se trouve jamais capable de soulever l'arrière-train ou de rendre nulle la pression P'' qu'il exerce sur la selette (72). La stabilité exige donc que P'' soit positive dans

toutes les circonstances du tirage; en d'autres termes, elle a pour condition

$$P_1 p'' = \frac{Q_1 d' + P_1 a' - p''(l' - c)}{l'} = S^2.$$

Si l'on substitue à p'' sa valeur (73), cette équation donne

$$a' = \frac{l'S^2}{P_1} + \frac{Pa + Qd}{P_1} \times \frac{l' - c}{c} - \frac{Q_1}{P_1} \left(\frac{l' - c}{c} a'' + d'' \right), \quad (I)$$

pour la distance qu'on doit mettre entre le centre de gravité de l'arrière-train et l'axe du second essieu, à l'effet d'assurer la stabilité du timon.

Mais a' et par suite S^2 ont des limites. Il faut que de leurs valeurs ne résulte pas, au contact de l'arrière-train avec la pièce de contre-appui, une pression qui cause la rupture du timon, quand, dans certaines circonstances que nous examinerons bientôt, il est tiré de hant en bas par les chevaux attelés à la volée mobile.

Soit donc X le plus grand effort vertical et descendant qui puisse être exercé à l'extrémité antérieure du timon, sans altérer l'élasticité de cette pièce. On devra écrire les équations d'équilibre

$$p''c = Pa + Xl, \quad p''(l' - c) = P_1 a'.$$

Elles donnent

$$p'' = \frac{Pa + Xl}{c}, \quad a' = \frac{l' - c}{c} \times \frac{Pa + Xl}{P_1}. \quad (II)$$

La valeur de p'' est la plus grande résistance que le corps de voiture doive opposer à l'abaissement du timon; celle de a' est le maximum de la distance qui doit exister entre le centre de gravité de l'arrière-train et l'axe du second essieu. Ainsi, toute valeur de a' tirée de l'équation (I) devra être inférieure ou tout au plus égale à celle de l'équation (II).

97. Mais on ne peut pourvoir à la stabilité du timon, au moyen de la seule distance a' , que dans les cas où c est déterminé par d'autres considérations. Un tel cas se présente lorsque la cheville-ouvrière est placée sur la pièce de contre-appui, parce que sa distance à l'axe du premier essieu dépend du tournant dont la voiture a besoin; tandis que le bras de levier de p'' n'est plus réglé, quand la même cheville se met au-dessus

de l'essieu d'avant-train. Il faudrait donc, dans une semblable circonstance, donner une valeur arbitraire à c , pour obtenir a' . Mais alors cette dernière longueur peut se trouver déterminée par la nature du service, ce qui a lieu notamment pour l'affût de 12 selon *Gribeauval*, lequel doit pouvoir cheminer sur son avant-train, quand la bouche à feu est dans ses encastremens de tir. En pareil cas, ce n'est plus a' qui rend le timon stable, mais bien la distance c de l'axe du premier essieu à la pièce de contre-appui. L'équation (II) donne pour valeur convenable de cette distance,

$$c = \frac{l'(Pa + Xl)}{P_1a' + Pa + Xl}. \quad (III)$$

En y faisant $X=0$, ce qui suppose l'action des chevaux sans influence, on voit qu'au moins

$$c = \frac{Pa l'}{P_1a' + Pa}. \quad (IV)$$

L'équation (I) fournit une autre valeur de c indépendante de l'élasticité du timon; cette valeur est

$$c = \frac{l'(Pa + Qd - Q_1d'')}{P_1a' + Pa + Qd - Q_1(d'' - d') - l'S}, \quad (V)$$

et varie avec les efforts Q , Q_1 . Comme la distance c reste nécessairement toujours la même dans une voiture construite, le tracé devra rendre la quantité d' assez petite, pour que $d'' - d'$ diffère très-peu de d'' , et annuler la différence des termes où entrent Q , Q_1 , afin que les variations de ces efforts n'empêchent pas c , déterminé pour un chemin ordinaire, de convenir à la stabilité dans tous les terrains.

On doit aussi régler l'élévation de l'extrémité antérieure du timon, de manière que la direction de l'effort des chevaux de devant, passe par l'axe du premier essieu, quand la voiture roule sur un plan, afin que les variations de cet effort, qui s'exerce à l'extrémité d'un grand bras de levier, ne puissent, dans les cas ordinaires, troubler la stabilité, malgré la valeur convenable donnée à c .

98. Il faudrait encore avoir égard à d'autres forces, si l'on voulait obtenir de la théorie seule une valeur de c qui rendit le

timon stable dans toutes les circonstances. En effet, les voitures roulent souvent sur des chemins remplis d'aspérités que les roues heurtent sans cesse. Quand le choc a lieu sur les roues de derrière, la résistance de l'arrière-train est tout-à-coup augmentée, et comme la traction des chevaux ne croît pas instantanément, il se fait dans l'avant-train une rotation qui soulève le timon. A la vérité, le mouvement ascensionnel est alors en partie détruit par le poids de cette pièce, et par la réaction que le corps de voiture exerce aussitôt sur la partie de la selette qui se trouve en avant de l'essieu.

Lorsque le choc se fait sur les roues de devant, la vitesse de l'avant-train est soudain diminuée; la cheville-ouvrière n'est plus tirée en arrière; elle peut même être poussée en avant par l'arrière-train, et cette action ou celle des derniers chevaux fait baisser le timon, si la réaction du corps de voiture sur la pièce de contre-appui, n'est pas rendue suffisante par la valeur de c .

Ainsi, pour soustraire entièrement la stabilité du timon à l'influence des chemins, on devrait déterminer c par l'équation (V) réduite à

$$c = \frac{Pa l'}{P_1 a' + Pa - l' S^2},$$

et choisir préalablement pour le quarré S^2 un nombre qui convint au cas des terrains raboteux.

Une telle valeur de S^2 étant à-peu-près impossible à trouver, il faut recourir à l'expérience. Elle prouve que, dans les voitures à support (94), le timon a toute la stabilité désirable, quand il charge les derniers chevaux d'un poids de 10^4 . Or, il s'ensuit évidemment que la stabilité existera aussi à fort peu-près dans les voitures à contre-appui, si leur tracé rend la réaction p'' du corps de voiture capable, en toute circonstance, de faire équilibre au timon chargé de 10^4 à son extrémité antérieure. Remplaçons donc par 10^4 , dans l'équation (III), l'effort vertical X qui a été supposé agir dans le sens de la pesanteur; nous obtiendrons une formule qui déterminera c de manière que la stabilité existera au degré nécessaire, quelle que soit la nature du chemin. Cette formule est

$$c = \frac{l' (Pa + 10^4 \times l)}{P_1 a' + Pa + 10^4 \times l}.$$

99. Les oscillations que peut faire le timon d'une voiture à support, sont aussi de deux sortes, horizontales ou verticales. Les premières se trouvent suffisamment limitées par la résistance que l'avant-train, animé d'une certaine vitesse, oppose à toute force qui tend à lui faire changer de direction, et par le frottement qu'éprouvent les branches du support dans les anneaux des colliers, à une grande distance de l'axe vertical de rotation. Le mouvement ascensionnel est empêché par le poids de l'avant-train qui agit en avant du premier essieu, et l'abaissement ne peut avoir lieu, puisque le bout du timon se trouve soutenu par les colliers des derniers chevaux.

La stabilité est donc assurée dans les voitures à support; mais elle oblige à fixer aux pressions qui en résultent sur les colliers, une limite telle que les chevaux ne puissent pas être blessés.

La valeur générale de la charge des chevaux d'une voiture à support (78),

$$P'' = \frac{1}{l} [Pa + Qd - Q_1 d'' - \frac{c}{l_1} (P_1 d' + Q_1 d'')],$$

montre que cette charge varie avec les efforts Q, Q_1 , c'est-à-dire avec la nature et la configuration du sol, et l'expérience apprend (98) qu'elle convient de toute façon quand elle est de 10^4 . Il faut donc faire en sorte qu'elle ne puisse guère dépasser ce poids.

Si l'on pouvait, par le tracé, rendre nulles à la fois les distances d, d'', c , il ne resterait plus qu'à prendre pour a , ce que donnerait l'équation $a = \frac{10^4 \times l}{P}$. Mais il est impossible

de réduire à zéro, d'' et c en même temps, car ce serait placer sur l'axe même du premier essieu, le point de réunion des deux trains. On ne peut pas non plus toujours annuler d ou faire couper l'axe de l'essieu antérieur par les directions des derniers traits, puisque cette disposition exigerait, dans certains cas, ou des roues de devant très-basses, ou l'abandon des avantages qui résultent de l'angle le plus favorable à la traction.

Ne pouvant empêcher entièrement les variations de P'' , on doit se borner à les atténuer autant qu'il est possible. C'est ce que l'on fera en plaçant l'articulation des trains à très-peu-près

au niveau de l'axe du premier essieu, pour rendre d'' fort petit, en fixant le crochet-cheville-ouvrière sur la face postérieure du même essieu, pour donner à c une valeur minimum, et en mettant le point d'attache des derniers traits à une hauteur qui, sans altérer l'angle le plus favorable au tirage, réduise la distance d autant qu'elle peut l'être.

Cependant, il sera mieux encore, lorsque d ne pourra pas être tout-à-fait nul, de rendre d'' tel que les momens Qd , Q, d'' se détruisent en terrain horizontal et ordinaire; car les efforts Q , Q , augmentant et diminuant ensemble, il se fera une espèce de compensation dans les autres cas, de sorte que la charge des chevaux de derrière ne dépassera jamais de beaucoup, la quantité produite par la valeur de a et le minimum de c , dans les chemins ordinaires.

JEU DU TIMON.

100. Nous n'avons pas prétendu dire, en insistant sur la nécessité de rendre le timon stable, que les deux trains dussent former un système absolument rigide. Il faut, au contraire, qu'une voiture à quatre roues soit construite de telle manière, que le timon ait la facilité de former en s'élevant un certain angle avec sa position habituelle; car s'il n'en était pas ainsi, cette pièce serait exposée à être brisée dans les descentes.

En effet, si une pente qu'on peut descendre sans enrayer, a cependant assez de raideur pour rendre les résistances qui s'opposent au roulement des roues, inférieures aux forces que la décomposition des poids des deux trains fait agir parallèlement au sol, les chevaux de derrière sont obligés de retenir la voiture, afin de ne pas être entraînés par l'accélération du mouvement. Or, ils produisent cet effet au moyen des chaînes de retraite, des plates-longes et des avaloires, c'est-à-dire en opérant une traction rétrograde sur le bout du timon, et comme ce point d'application de leurs efforts se trouve plus bas que ceux où les chaînes de retraite sont accrochées aux plates-longes, il se fait nécessairement autour de l'axe du premier essieu, une rotation qui élève le timon jusqu'à ce que la direction de la puissance convienne à l'état d'équilibre de l'avant-train. Il est donc indispensable que le mode d'union des deux parties de la voiture, permette cette

rotation, et même que le support ne s'y oppose nullement, lorsque le timon est soutenu par les chevaux.

101. La voiture et son attelage ne se meuvent pas toujours sur le même plan, comme nous l'avons supposé jusqu'ici : bien loin de là, il arrive fréquemment, quand l'artillerie parcourt un terrain ondulé, que les chevaux de volée, par exemple, se trouvent sur un plan différent de celui où roule la voiture. Alors, les points où les traits de ces chevaux s'attachent à leurs colliers, se sont élevés ou abaissés par rapport à l'essieu de devant, et la direction de l'effort Q' ne rencontre plus l'axe de cet essieu.

Soient l la distance de l'axe au point d'attache de la volée mobile, et $\pm \sin \psi$ le sinus de l'angle formé par la nouvelle et l'ancienne direction de Q' . Il est clair que la composante $\pm Q' \sin \psi$ agit avec un bras de levier l , pour imprimer à l'avant-train un mouvement de rotation. Ce n'est donc pas seulement pour les descentes qu'il importe de donner une certaine flexibilité au système des deux trains d'une voiture à volée mobile. Il est vrai que si l'angle ψ était toujours fort petit, le timon pourrait, en vertu de son élasticité, s'élever ou s'abaisser suffisamment pour mettre la nouvelle direction de Q' et l'axe du premier essieu dans un même plan, malgré la rigidité du système. Mais si le terrain présentait de fortes ondulations, la flexion que permettrait l'élasticité, ne serait plus assez grande.

Dans le cas où la direction de Q' passerait au-dessus de l'axe de rotation, la force $Q' \sin \psi$ ferait produire, sur le corps de voiture, par la pièce de contre-appui, une pression $\frac{l}{c} Q' \sin \psi$, et l'effet qui en résulterait sur le petit bout du timon, devrait être moindre que l'élasticité de cette pièce ; autrement, la partie antérieure de l'arrière-train devrait être soulevée avant que le même effet n'égalât l'élasticité.

Nous ferons remarquer que, si la composition de la voiture ne permettait pas de donner au timon tout le jeu dont il a besoin dans les terrains ondulés, on serait obligé, pour prévenir la rupture de cette pièce, de supprimer la volée de devant et d'atteler tous les chevaux les uns sur les autres.

102. C'est surtout quand le terrain est fortement accidenté,

que le système des deux trains a besoin de flexibilité. Quel que fût le mode d'attelage employé pour les chevaux qui précèdent ceux du timon, il y aurait infailliblement rupture, si l'avant-train ne pouvait tourner librement sur l'axe de son essieu.

Supposons d'abord qu'une voiture attelée seulement de deux chevaux ait à franchir un ravin étroit ABC, en descendant la pente AB (fig. 19). Il est clair que le système serait arrêté par la contre-pente BC, si le timon restait parallèle au plan AB, et même s'il ne pouvait devenir parallèle à BC, pendant que le corps de voiture resterait parallèle à AB. Il est donc nécessaire que les deux chevaux puissent, au moyen de leurs colliers et des chaînes de retraite, élever le timon, à mesure qu'ils s'élèvent eux-mêmes sur la contre-pente BC, et l'élever jusqu'à ce qu'il forme avec le corps de voiture un angle à-peu-près égal à celui des deux plans inclinés et tourné de la même manière. Une composition qui ne permettrait pas une telle rotation à l'avant-train, on qui rendrait rigide le système des deux trains, avant que les premières roues ne fussent parvenues au pied de la contre-pente BC, mettrait les chevaux dans l'impossibilité de continuer leur mouvement; car ils ne pourraient le faire qu'en soulevant la voiture autour de l'essieu de derrière, et ils sont évidemment incapables de supporter l'énorme pression qui en résulterait sur leurs colliers. D'ailleurs, avant que les premières roues ne quittent le sol, le timon qui est la partie la plus faible de la voiture se romprait infailliblement.

Ajoutons maintenant deux ou un plus grand nombre de chevaux, et rendons-les indépendans de ceux du timon, au moyen d'une volée mobile. Ils monteront la contre-pente BC, que la voiture et les derniers chevaux seront encore sur le plan AB, et s'ils sont dispensés d'exercer la moindre traction, les choses se passeront absolument comme dans le cas précédent. Mais il peut se faire que le terrain soit très-tirant, ou que, dans le même moment, les chevaux de devant soient sur BC (fig. 20), ceux de derrière et l'avant-train sur AB, et les roues de l'arrière-train au-delà d'une crête, sur une troisième pente AD. Alors, il faudra qu'an moins les chevaux de volée aident ceux de derrière, et par conséquent, le timon sera soulevé, avant même que les derniers chevaux aient atteint la pente BC. Ainsi, non-seulement

dans ce cas les deux trains devront pouvoir former un angle égal à celui du ravin, mais en outre il sera nécessaire que les chaînes de retraite aient assez de longueur pour ne point empêcher le mouvement ascensionnel du timon; autrement les chevaux de derrière auraient à supporter de puissants efforts exercés sur leurs plates-longes et de bas en haut.

Supposons en second lieu qu'une voiture attelée seulement de deux chevaux ait à franchir une crête ABC (fig. 21), en montant la pente AB. Dès que l'attelage commencera à descendre le versant BC, les traits s'écarteront du timon; la traction l'empêchera de rester parallèle au versant AB; il sera forcé de se rapprocher du plan AC, et devra finir par se trouver presque parallèle à ce plan, quand les premières roues seront arrivées sur la sommité de la crête. Ainsi, dans ce cas, il faut, si l'on veut qu'aucune partie du système n'ait d'effort à supporter, le composer de façon que les deux trains puissent former un angle égal à celui des deux versants et tourné de la même manière.

Si la composition ne laisse pas une telle flexibilité au système, il deviendra rigide avant que les premières roues aient atteint la sommité, et dès ce moment, la traction tendra à le rompre. Cependant il pourra résister, attendu que l'effort s'exerce sur la volée de derrière, à son point d'application assez près de l'axe de rotation. Admettons qu'il résiste en effet; alors le timon continuera de former un certain angle avec BC, tant que les roues de derrière ne seront point parvenues sur la sommité, et comme l'attelage descendra de plus en plus, il arrivera un moment où les chaînes de retraite se trouveront tendues, si l'angle ABC est peu ouvert; alors les chevaux auront à supporter de grands efforts qui s'exerceront de bas en haut sur leurs plates-longes, et leur réaction pourra déterminer la rupture du timon.

Qu'au lieu d'un seul couple de chevaux, l'attelage soit composé de plusieurs; les efforts de ceux qui seront placés en avant du timon, augmenteront les chances de rupture, quels que soient leurs points d'application, si le jeu du timon n'a pas l'étendue convenable; dans le cas où l'on ferait usage d'une volée mobile, la rupture du timon serait inévitable et pourrait même avoir lieu, avant que les derniers chevaux eussent franchi la crête.

On voit donc qu'une voiture ne peut parcourir un terrain

fortement accidenté, si sa composition s'oppose à ce que les deux trains forment entre eux des angles rentrants ou saillants qui permettent au système de se plier dans tous les cas à la configuration du sol. Connaître les limites de ces angles ou celles du jeu du timon est donc une chose importante pour l'officier d'artillerie.

Or, nous avons dit en considérant le cheval comme moteur, qu'une pente inclinée de 30° sur l'horizon est à-peu-près la plus raide que des chevaux attelés puissent monter ou descendre; par conséquent, le minimum des angles rentrants ou saillants formés par les ravins ou les crêtes qu'une voiture d'artillerie puisse franchir, est de 120° , indication du troisième angle d'un triangle isocèle dans lequel chacun des deux autres angles est de 30° . Ainsi, le timon doit pouvoir former au-dessus et au-dessous de sa position habituelle AB (fig. 22), un angle de 60° , supplément de 120° , et le petit bout de cette pièce doit pouvoir s'élever ou s'abaisser, par rapport à cette même position, d'une quantité égale au produit de $3^m,50$ multipliés par $\sin 60^\circ$, car $3^m,50$ est la distance de l'axe du premier essieu à l'extrémité antérieure du timon. Comme $3^m,50 \times \sin 60^\circ = 3^m,03$, il faut, pour que l'élasticité d'aucune partie de la voiture ne soit jamais mise en jeu, par suite de la configuration du sol, que le bout B du timon puisse prendre deux positions extrêmes B', B'' qui forment avec le milieu A de l'axe du premier essieu, un triangle isocèle dont la base B'B'' ait $6^m,06$.

INDÉPENDANCE DES TRAINS.

103. Ce n'est pas assez que le système des deux trains d'une voiture soit flexible selon une horizontale; il faut encore entre les deux trains une telle indépendance, que les essieux puissent prendre par rapport au plan horizontal et dans des sens différents, les inclinaisons qu'occasionne la configuration du sol. Souvent, en effet, par suite d'aspérités ou de trous placés sur les deux lignes de la voie et non symétriquement, la roue de droite de l'avant-train, par exemple, se trouve plus élevée que la roue de gauche, tandis que le contraire a lieu pour le corps de voiture. Si le mode de réunion des deux trains ne laissait pas aux essieux toute liberté de prendre ces positions inversement inclinées, la machine serait continuellement tourmentée; elle

aurait même à supporter, dans les cahots, des chocs dont l'intensité détruirait la solidité des assemblages, et pourrait parfois occasionner des fractures.

104. L'indépendance des trains est bien loin d'avoir lieu dans la composition adoptée par *Gribeauval* pour les voitures d'artillerie : cela tient à l'emploi d'une sassoire et au percement de la lunette dans une pièce de bois qui a besoin d'une assez grande épaisseur : les inclinaisons de la cheville-ouvrière sont tellement limitées par les parois de la lunette, que le jeu de l'avant-train est extrêmement borné, et que le système devient rigide dès que le terrain se trouve un peu accidenté. On pourrait, il est vrai, remédier à ce défaut en remplaçant la lunette et le lisoir qui la contient, par un anneau analogue à celui de la nouvelle artillerie de campagne ; mais pour empêcher la cheville-ouvrière de sortir de cet anneau soit par suite de cahots violens, soit par l'effet des mouvemens verticaux du timon, il faudrait ou employer un moyen d'embrelage qui limiterait encore la flexibilité du système, ou augmenter de beaucoup la longueur de la cheville-ouvrière, ce qui jetterait dans d'autres inconvéniens tout aussi graves. Il est donc impossible de mettre les voitures de *Gribeauval* en état de parcourir des terrains fortement accidentés.

Afin de justifier complètement notre assertion, nous considérons une cheville-ouvrière placée précisément au-dessus de l'essieu antérieur, comme dans l'affût de campagne, modèle de *Gribeauval*, et nous chercherons la longueur qu'il lui faudrait pour qu'elle ne pût sortir d'un anneau, dans l'un des cas les plus défavorables, lorsque, par exemple, le timon est forcé d'atteindre au maximum d'abaissement. Alors, la sassoire soulève le corps de voiture, et si h est la hauteur dont s'est abaissé le bout b du timon, la nouvelle position a' du point d'appui a de la sassoire (fig. 23), est telle que $aa' = h \frac{a'B}{Bb} = h \frac{c}{l}$. Or, la lunette ou anneau B a parcouru sur la cheville-ouvrière une distance BB' , par suite de l'abaissement du timon, et cette distance est plus grande que BC verticale parallèle à aa' . La longueur totale de la cheville-ouvrière doit donc être au moins égale à BC , c'est-à-dire à $aa' \times \frac{BE}{aE} = h \frac{c}{l} \times \frac{l'}{l' - c}$.

Si l'on substitue dans cette expression, pour h , la limite 3^m,03 précédemment trouvée (102), et pour les autres quantités, les valeurs qu'elles ont dans l'affût de huit, par exemple, on verra que cette voiture de *Gribeauval* devrait avoir une cheville-ouvrière longue de 31^{pos} au moins, ou de 21^{pos} plus longue que celle qu'elle porte.

Admettons qu'une telle dimension ne nuise en rien au reste du système; admettons qu'on puisse donner à la cheville un diamètre qui la rende capable de résister, même dans le cas où la puissance qui tend à la rompre, agira vers l'extrémité supérieure; il resterait encore un défaut extrêmement grave: la réunion et la séparation des trains deviendraient des opérations très-longues et très-difficiles; elles se trouveraient même impraticables, lorsque les chevaux seraient attelés à la voiture. Il est donc vrai que la composition adoptée par *Gribeauval*, ne convient nullement aux voitures qui doivent jouir d'une grande mobilité, et c'est là le principal motif de la création du nouveau matériel de campagne.

LIMITE DES BRANCARDS.

105. La nécessité où se trouvent souvent les voitures des batteries, de passer des ravins et des crêtes, impose encore d'autres conditions à leur composition. On sent bien d'abord que si les brancards ne sont pas convenablement limités en arrière, ils pourront porter sur l'une des pentes d'un ravin, pendant que l'avant-train montera la pente opposée. L'effet de la traction sera dans ce cas de soulever le corps de voiture, au moyen du point d'appui que les brancards prendront sur le sol, et cet effet auquel s'opposera le poids du fardeau et de tout l'arrière-train, occasionnera parfois une rupture.

La saillie que les brancards peuvent avoir en arrière du second essieu, sans qu'il en résulte l'inconvénient qui vient d'être signalé, est évidemment d'autant plus grande qu'ils sont plus élevés, et que l'angle du ravin est plus ouvert ou que les inclinaisons des deux pentes sont plus faibles; mais il est visible aussi que pour avoir la certitude de n'être jamais gêné par les brancards dans les passages de ravins, il suffit de les limiter en arrière à la surface cylindrique extérieure des deux roues du

corps de voiture, ce qui revient à leur donner pour saillie, le rayon des ces rones:

La même règle est applicable aux voitures qui n'ont pas à parcourir des terrains fortement accidentés, car si l'on dépassait la longueur qu'elle fixe, il faudrait donner un fort écartissage aux brancards, pour qu'ils ne rompissent pas sous le poids dont ils seraient chargés en arrière du second essieu.

106. On devra traiter comme les brancards, tous les corps qui, portés par l'arrière-train, se trouveront plus élevés que l'essieu. Quant à ceux qui le seraient moins, leur saillie ne pourrait plus être déterminée par le rayon des dernières roues; mais elle devrait toujours être limitée à la surface cylindrique de ces roues.

Cela nous montre de quelle manière doit être établie une roue de rechange placée à l'extrémité postérieure du corps de voiture. Si la partie la plus basse de cette roue dépassait la surface cylindrique des roues de l'arrière-train, elle pourrait toucher le sol, soit dans le passage d'un ravin, soit dans celui d'un fossé, et il arriverait ou que l'essieu porte-roue serait rompu, ou que la roue de rechange glissant le long de cet essieu, se séparerait de la voiture.

LIMITES DE LA DISTANCE DES ESSIEUX.

107. La distance horizontale l' des deux essieux a aussi une limite qu'on ne saurait dépasser, sans se priver de l'avantage de pouvoir franchir les crêtes vives qui se présentent parfois dans les terrains fortement accidentés. Pour déterminer cette limite, nous observerons qu'an moment où les deux trains sont sur la même pente AB (fig. 24), la distance du sommet B de la crête au plan qui touche les quatre rones par dessous, est nulle; qu'elle cesse de l'être dès que l'avant-train passe sur le versant BC ; qu'alors elle va en augmentant jusqu'à l'instant où le plan qui touche les quatre roues par dessous, se trouve horizontal, et que plus tard elle diminue.

Il s'ensuit que la distance du sommet de la crête au même plan, est à son maximum quand le plan DE des brancards est horizontal. Ce maximum ne peut donc excéder le rayon R' des grandes roues augmenté de la distance h des brancards à l'axe de l'essieu. Or, il correspond au maximum de la distance hori-

zontale DE des deux essieux, pour une crête donnée; car si, dans le cas où le sommet B se trouve sur le plan des brancards, on venait à augmenter l'intervalle DE, les roues ne pourraient toucher les deux pentes, sans que ce plan descendit au-dessous de B. Par conséquent, la longueur qu'a DE lorsque $BF = R' + h$, est le maximum de cette distance horizontale des deux essieux.

Supposons les pentes les plus raides ou une indication de 120° à l'angle saillant de la crête (102). Nous aurons $EH = \frac{R'}{\sin 30^\circ}$, $BH = \frac{h}{\tan 30^\circ}$, $DG = \frac{R}{\sin 30^\circ}$, $BG = \frac{De}{\tan 30^\circ} = \frac{R' + h - R}{\tan 30^\circ}$, et par suite, la plus grande longueur qu'on pourra donner à DE, si l'on veut conserver l'avantage de pouvoir franchir les crêtes les plus aiguës, sera fournie par l'équation

$$DE = \frac{R' + R}{\sin 30^\circ} + \frac{R' - R + 2h}{\tan 30^\circ}.$$

108. Si les quatre roues sont égales, la différence des rayons est nulle, et

$$DE = \frac{2R}{\sin 30^\circ} + \frac{2h}{\tan 30^\circ}.$$

Tel est donc le maximum de la distance des essieux dans les voitures de la nouvelle artillerie de campagne. Comme ces voitures sont à flèche et que le dessous de cette pièce affleure le dessous du second essieu, la distance h y est négative; mais attendu qu'elle n'est que d'environ $0^m,036$, nous pouvons la négliger et poser simplement $DE = \frac{2R}{\sin 30^\circ}$. Mettant pour R sa

valeur $0^m,73$, on trouve que la distance horizontale des deux essieux doit être au plus de $2^m,92$. Mais c'est toujours au-dessous de cette limite qu'il faut se tenir; il serait même convenable, si le chargement le permettait, de ne laisser entre les deux roues d'un même côté, que l'espace nécessaire au service, c'est-à-dire au passage d'un homme; ce serait le moyen de rendre dans certains cas le tirage plus facile.

On conçoit effectivement que les axes des deux trains ne forment pas toujours une seule ligne droite: ils se conpnt sous un certain angle, dès que l'une des roues de derrière éprouve une résistance sensiblement supérieure à celle de l'autre, ou

bien quand l'arrière-train glisse sur un sol incliné dans le sens de son essieu. Alors, la force avec laquelle le train de devant tire celui de derrière, subit une décomposition et il y a perte d'effort; en outre, les dernières roues sont obligées de s'ouvrir des ornières particulières, si le terrain se laisse pénétrer.

Or, une des résistances qui s'opposent à la déviation de l'arrière-train, c'est le frottement de la partie antérieure sur l'avant-train, et toutes choses égales d'ailleurs, cette déviation est d'autant plus facile que le bras de levier de la force qui la produit, est plus grand par rapport à celui du frottement des deux trains. Par conséquent, on diminue la facilité du tirage, pour certains cas, lorsqu'on augmente la distance des essieux; et au contraire, il y a généralement économie de quantité d'action, à restreindre cette distance.

109. Du reste, c'est la manière dont le fardeau doit être disposé et l'étendue qu'il peut occuper en longueur, qui détermine l'intervalle des essieux; car le centre de gravité de ce fardeau doit toujours être placé de telle façon que les charges des deux trains soient dans un certain rapport (93), et conséquemment, de la longueur du corps de voiture résulte la distance des essieux; puisque la saillie postérieure des brancards est limitée par la surface cylindrique des roues de derrière (105).

Cependant, si le centre de gravité du fardeau avait une élévation telle, que les pentes à parcourir pussent rapprocher beaucoup de l'un ou de l'autre essieu, la verticale selon laquelle agit le poids total, il conviendrait de donner la plus grande longueur possible au corps de voiture, afin d'atténuer les variations des charges supportées par les essieux, et conséquemment les variations du rapport de ces charges. Il s'ensuit qu'on doit adopter pour la distance des essieux, une longueur qui diffère à-peu-près également des deux limites indiquées (108).

EXPÉRIENCES D'EDGEWORTH.

110. Il ne sera pas sans intérêt de voir que des expériences concluantes, faites par M. *Edgeworth*, confirment pleinement deux de nos principes de tracé (95 et 109) et même ce que nous avons déduit de la théorie, au sujet des voitures suspendues (53). Ces expériences forment deux classes: les unes ont été faites

sur de petites voitures à quatre roues, construites à l'échelle d'un huitième et demi; pour les autres, on s'est servi de voitures qui avaient les dimensions usitées. Dans les premières, la route consistait en un madrier placé horizontalement, sur lequel se trouvaient cloués des obstacles en bois dont la hauteur était de 0^m,009. On fit varier la distance des essieux, ainsi que la position du centre de gravité de la charge, et l'on vit que l'élévation de ce centre au-dessus du sol, ni la longueur du corps de voiture, n'ont absolument aucune influence sur le tirage, quand le sol est dur, uni et non incliné dans le sens des essieux (108).

Les mêmes expériences ont prouvé en outre les avantages des voitures suspendues. Le rapport de la force de traction exigée par ces voitures, à celle que nécessitait les voitures dépourvues de ressorts, s'est trouvé de $\frac{9}{12}$ pour une vitesse de deux milles ou 1609 mètres par heure, de $\frac{4}{12}$ pour une vitesse de trois milles trois quarts, et de $\frac{6}{12}$ pour une vitesse de cinq milles et demi.

Les expériences en grand ont été faites à l'aide d'une machine nommée *peïramètre* par M. Edgeworth: elle était composée d'une petite voiture à deux roues surmontée d'un axe sur lequel tournait une grande poulie horizontale. Un câble passait dans la gorge de cette poulie et s'attachait par ses bouts aux deux voitures qu'on voulait comparer. Ces deux voitures étant construites sur le même modèle et différant seulement par les distances des essieux ou par les positions des centres de gravité, il est clair que celle qui, pour ne point dépasser l'autre, exigeait une charge plus grande, devait être regardée comme ayant un tirage plus facile. Mais on ne trouva aucune différence notable, soit en rendant inégaux les intervalles des essieux, soit en plaçant à des hauteurs différentes les centres de gravité. D'un autre côté, les voitures à ressorts avaient, comme dans les expériences en petit, un avantage d'autant plus marqué que les obstacles étaient plus considérables, les vitesses plus grandes et les charges plus pesantes.

ANGLE DE LA MOINDRE RÉSISTANCE.

111. Nous terminerons les principes du tracé et cette seconde section, en rapportant des expériences entreprises dans la vue de reconnaître l'angle que la direction des traits doit former avec

l'horizontale, pour que la puissance motrice soit près de son minimum.

Mais il ne sera pas hors de propos de montrer auparavant combien les expériences sur les voitures sont difficiles à faire, quand le but qu'on se propose est de constater l'effort qu'exige du moteur, le transport d'un poids déterminé. Cet effort ne peut être exactement indiqué, pour un instant quelconque, par le dynamomètre, que dans le cas où il ne s'opère ni accélération, ni ralentissement dans le mouvement, circonstance bien rare et très-peu facile à reconnaître. S'il y a une accélération inaperçue, l'effort indiqué par l'instrument sera nécessairement plus grand que celui qui mesure les résistances; de sorte que l'aiguille peut avancer, quoique la somme des résistances ne change pas, ou rester stationnaire, bien que les résistances se soient affaiblies. S'il y a un ralentissement qui échappe à l'observateur, l'indication du dynamomètre sera inférieure à la vraie mesure des résistances, et ces résistances auront pu augmenter, sans que l'aiguille ait changé de place.

Qu'au lieu de chercher directement l'effort de traction, en prenant la moyenne des efforts successivement observés, on veuille le trouver en divisant la quantité d'action consommée dans un trajet donné, par la longueur de ce trajet, on pourra ne tenir aucun compte des accélérations ni des ralentissements, puisqu'il y a lieu d'admettre une compensation; mais il faudra noter toutes les variations du dynamomètre, multiplier chaque indication de l'aiguille par la longueur de chemin parcourue pendant que cette indication sera restée constante, et ajouter tous les produits, pour avoir la quantité d'action totale. Or, si la mesure de chaque trajet partiel n'offre aucune difficulté, on conçoit qu'il n'en est pas de même quant à l'observation de l'instrument, lorsque la tension des traits varie rapidement entre des limites fort différentes, comme il arrive dans les terrains raboteux: se borner, pour un tel cas, à observer de temps en temps les indications de l'aiguille et à prendre leur moyenne pour l'effort constant qui doit être multiplié par le trajet partiel, ce serait s'exposer à commettre de graves erreurs.

Enfin, il faudrait aussi observer l'effort Q au départ, au moment où le moteur tire la voiture de l'état de repos, si l'on

voulait que la valeur moyenne convînt à la plupart des cas, et il serait presque impossible de saisir l'instant précis où le mouvement est sur le point de naître. Cependant, la mesure des résistances sera très-éloignée d'être exacte, si le dynamomètre n'est observé qu'au moment où la voiture a déjà une certaine vitesse, car cette vitesse pourrait être communiquée par des efforts bien différens; seulement, le plus grand la produirait plus rapidement que le plus petit.

Concluons de là qu'il faut avoir peu de confiance dans les résultats des expériences qui ont été entreprises jusqu'ici sur les voitures: les auteurs ne faisant aucune mention des difficultés que nous venons de signaler, il y a lieu de croire qu'ils n'ont pas pris toutes les précautions nécessaires pour éviter les erreurs, ou du moins pour en diminuer et atténuer suffisamment les causes. La détermination de l'effort moyen par les résultats des expériences faites jusqu'à ce jour, doit donc être regardée comme une simple approximation; mais il faut s'en contenter à défaut d'appréciation exacte. C'est par ce motif que nous allons consigner ici celles des expériences qui nous ont paru avoir été dirigées avec le plus de soin.

112. Une commission d'officiers d'artillerie formée à Metz, fut chargée de comparer les voitures du nouveau système et celles de *Gribeauval*; elle opéra sur deux affûts de 8 chargés de leurs pièces. Comme celui de l'artillerie anglaise modifiée avait des roues d'avant-train beaucoup plus hautes que celles de l'avant-train de *Gribeauval*, on présumait que le tirage en serait plus facile. Cependant, de nombreuses marches exécutées dans toutes sortes de terrains, ne firent remarquer aucune différence soit dans les tractions nécessitées par les deux voitures, soit dans les efforts des chevaux de derrière pour retenir aux descentes. Mais cette première comparaison était loin de suffire, puisqu'elle ne portait que sur la fatigue apparente des chevaux et sur la chasse des voitures dans les descentes. La commission dut donc recourir à l'emploi du dynamomètre de *Régnier*.

Pour éviter les à-coups que produisent toujours les chevaux les plus francs, on fit tirer les voitures par des hommes, au moyen de deux leviers disposés en galère, qui laissaient aux deux parties du cordage, une longueur de 2^m,40 égale à celle

des traits. Pour que l'angle de traction fût constant et le même que celui sous lequel s'exercent ordinairement les efforts des chevaux, on adapta à chaque levier un fil-à-plomb de 1^m,20 qui forçait les hommes à maintenir ce levier à la hauteur moyenne des billots des colliers. On obtint par là les résultats consignés dans le tableau suivant :

SYSTÈME.	HAUTEUR		ANGLE	POIDS total de la voiture	CHARGE		EFFORTS			
	DES ROUES.				DE L'ESSIEU	sur		en		
	de devant	de der- rière.				une palette		terrain labouré		
						au départ.	en march.	au départ.	en march.	
Grisbeaux.	42	54	12	1653	494	794	180	71	350	132
Anglais mo- difié.....	54	54	5 à 6	1678	820	784	190	81	400	192

Le rapport moyen de P à Q, pendant la marche, dans un terrain labouré, a donc été à-peu-près 12, pour la voiture de l'ancien système tirée sous un angle de 12°; tandis qu'il a été seulement 8,7 pour la voiture du nouveau système, dont les deux trains ont des roues d'égales hauteurs, mais qui était tirée sous un angle de 5 à 6° seulement.

Afin de mieux constater que la diminution de l'angle de traction était la cause qui détruisait l'effet d'une différence de 12 pouces dans les hauteurs des roues des deux avant-trains, la commission fit varier le point d'attache du cordage sur la voiture du nouveau système, de manière que la puissance pût agir sous différents angles. Elle obtint ainsi les résultats suivants :

ANGLE DE TRACTION.	EFFORT MOYEN AU DÉPART.	OBSERVATIONS.
5° 45'	73 ¹ / ₂	Le terrain était dur, parfaite- ment uni et avait été battu par une légère pluie.
10 20	60	
11 32	55	

On voit par ce tableau, que les efforts diminuent à mesure que l'angle de traction approche de 12° .

Une autre expérience faite sur un affût de quatre du système de *Gribeauval*, dont l'avant-train et le corps de voiture étaient chargés de plusieurs objets fort pesans, montra que les efforts augmentent, dès que l'angle de traction dépasse 12° . Voici le tableau des résultats que donna cette expérience, faite aussi en terrain dur et uni:

ANGLE DE TRACTION.		EFFORT MOYEN AU DÉPART.	OBSERVATIONS.
0°	0'	139 ¹ / ₂	
7	23	140	
12	0	126	
15	0'	145	
17	20	152	

115. Ainsi, jusqu'à ce que des expériences plus nombreuses que les précédentes, et faites avec des instrumens d'une plus grande précision, viennent contredire les résultats rapportés, on peut regarder l'angle de 12° comme peu différent de celui qui favorise le plus la traction, en terrain ordinaire.

Au reste, l'angle de 12° donnant à-peu-près le minimum d'effort dans un terrain dur et uni, il faudra que l'inclinaison des traits augmente de quelque chose, pour maintenir le minimum, si les résistances viennent à augmenter, si, par exemple, le chemin est très-tirant (83); car ce cas exige évidemment que la pression sur le sol soit affaiblie. Au contraire, lorsqu'il s'agit de gravir une pente, l'angle de traction doit diminuer; il serait même convenable que les traits fussent alors parallèles à la pente, puisque la principale résistance est la force $P \sin \psi$ qui agit dans un sens opposé au mouvement (81).

Mais, comme les ornières creusées par les roues dans les mauvais chemins, augmentent effectivement l'inclinaison des traits;

que la position des chevaux sur une montée, diminue un peu cette inclinaison; qu'enfin les pentes raides sont plus rares que les chemins difficiles, on peut placer les points d'attache des traits sur la voiture, de manière qu'en terrain horizontal et dur, les chevaux tirent sous un angle de 12° .

Cette inclinaison est d'ailleurs une de celles sous lesquelles un cheval peut exercer son maximum d'effort, ainsi que nous l'avons vu (8); elle réunit donc généralement tous les avantages. Si, en l'adoptant, on n'obtient pas rigoureusement le maximum d'effet, on pourra être sûr du moins qu'on ne s'en écarte pas beaucoup.

SECTION TROISIÈME.

VOIE, TOURNANT ET ENRAYEMENT DES VOITURES.

Nous avons divisé les voitures en deux classes qui ont été étudiées séparément dans les deux sections précédentes. Mais leur théorie générale, objet du chapitre deuxième, n'est pas encore complète. Comme ce qu'il reste à exposer concerne à la fois les voitures à deux roues et celles qui en ont quatre, nous devons y consacrer une section particulière.

VOIE DES VOITURES.

114. La *voie* d'une voiture est l'écartement des roues qui tournent autour du même essieu : elle se mesure sur le sol, du milieu de la largeur des jantes d'une roue, au milieu de la largeur des jantes de la roue opposée, ou ce qui revient au même, de la face interne des jantes de la première, à la face externe de celles de la seconde.

On donne la même voie aux deux trains d'une voiture à quatre roues, pour que les ornières de celui de devant servent à celui de derrière et que le tirage soit plus facile. C'est aussi afin de diminuer l'effort de traction, qu'on met à la même voie toutes les voitures destinées à marcher en colonne. La voie est encore la même pour l'équipage de siège et pour l'équipage de campagne, parce qu'ils ont des voitures communes.

Il n'y a donc qu'une seule voie dans l'artillerie. *Gribeauval*

l'a fixée à 56 pouces 6 lignes, c'est-à-dire au double environ du rayon de la roue la plus haute qu'il ait fait construire pour les voitures de siège et de campagne. Ce rapport est encore en usage. On ne pourrait en adopter un plus grand, sans augmenter le nombre des passages que les voitures ne peuvent franchir ; on ne pourrait en adopter un plus petit, sans rendre les voitures plus versantes (95). Une longue expérience a d'ailleurs prouvé qu'une voie égale à la hauteur des roues, est celle qui présente le moins d'inconvénients.

115. De ce que les voitures à deux ou à quatre roues ont la même voie, il suit que, si le centre de gravité a la même élévation dans les deux espèces, les premières ont moins de stabilité ou sont plus versantes que les secondes.

En effet, supposons que la verticale abaissée du centre de gravité vienne à passer en dehors de l'intervalle des roues d'une charrette ; le seul obstacle qui s'opposera au versement de cette voiture, sera le frottement de la dossière sur la selette ou celui de la sous-ventrière sur le ventre du limonier, et comme ces frottements sont faibles, l'action du poids produira son effet, à moins que le limon qui s'élève ne vienne à s'appuyer contre le cheval, au lieu de passer par dessus. Mais dans ce cas, l'animal court le plus grand risque d'être renversé, surtout si la marche est rapide et par conséquent, l'appui que le limon peut prendre contre lui, est plutôt un inconvénient des charrettes, qu'un avantage.

Lorsqu'une voiture à quatre roues roule sur un terrain plan assez incliné pour qu'elle se trouve exposée à verser des deux trains à la fois, la composition ni le mode d'attelage ne s'y opposent pas plus que ceux d'une charrette. Mais si, en terrain quelconque, l'accident a pour cause une aspérité qui élève une seule roue de l'un des trains, ou un trou qui l'abaisse, l'assiette et la pression de l'autre train pourront, dans bien des circonstances, empêcher cet accident d'avoir lieu : que ce soit l'avant-train qui tende à verser, la pièce de contre-appui est obligée de soulever et de faire culbuter le corps de voiture ; que ce soit l'arrière-train, il faut qu'il entraîne l'avant-train auquel il est lié par la cheville-ouvrière. Quand bien même l'articulation de ces deux parties ne consisterait qu'en un anneau et un crochet, comme dans les voitures à support, elle présenterait

encore un obstacle qui, dans un grand nombre de cas, serait suffisant pour empêcher le système de verser.

TOURNANT DES VOITURES.

116. On appelle *tournant* d'une voiture l'espace dont elle a strictement besoin pour faire un demi-tour. Plus cet espace est petit, et moins il y a de circonstances où les changemens de direction sont impossibles, plus aussi les manœuvres peuvent être exécutées facilement et avec rapidité. La meilleure composition est donc celle qui rend le tournant un minimum. Cherchons les moyens de satisfaire à cet importante condition.

Nous ferons d'abord observer que les essieux d'une voiture prennent spontanément des positions perpendiculaires à la direction du mouvement. Ainsi, quand une voiture à deux roues se meut en ligne droite, les positions successives de l'essieu sont généralement d'équerre sur la direction du moteur ; quand elle tourne selon un arc de cercle ou selon une portion de polygone qu'on puisse regarder comme un arc, l'essieu se place constamment selon les rayons, parce que la direction du mouvement varie alors continuellement, comme celle d'une tangente mobile. Si la voiture a quatre roues, les deux essieux sont généralement parallèles entre eux, lorsque le mouvement se fait en ligne droite, et leurs positions successives concourent vers un point fixe, pendant un mouvement circulaire.

Les raisons de ces faits sont que le système doit prendre de lui-même, dans chaque cas, la position qui rend la résistance totale un minimum, et que le frottement des boîtes de roue sur les fusées est bien moins grand, quand l'axe de l'essieu se trouve perpendiculaire à la direction du tirage, qu'il ne serait si ces deux lignes se coupaient obliquement. Il y aurait en effet, dans cette dernière circonstance, décomposition de l'effort de traction ; la composante parallèle à l'axe ferait glisser l'essieu sur les boîtes, produirait un nouveau frottement, et tendrait bientôt à faire glisser les roues sur le terrain, ce qui engendrerait une résistance énorme : ce dernier cas serait celui d'une grande obliquité de la force de traction par rapport à l'axe de l'essieu ; alors les roues ne tourneraient plus.

117. Puisque le centre des arcs qu'on fait parcourir aux diffé-

rens points d'une voiture à deux roues, dans les changemens de direction, ne saurait abandonner l'axe de l'essieu ou le prolongement de cet axe, il est clair qu'une telle voiture peut tourner en pivotant sur le point de contact de l'une des roues et du sol. C'est ordinairement ainsi qu'on exécute les changemens de direction avec une charrette, quand on manque d'espace pour décrire un plus grand cercle.

Or alors, l'extrémité A du limon opposé au pivot B (fig. 25), parcourt le plus grand des arcs décrits par les différens points. Soient ρ le rayon AB de cet arc, l la distance AC de A à l'axe de l'essieu et b la distance horizontale BC du pivot B au limon AC. On aura l'équation

$$\rho = \sqrt{l^2 + b^2}$$

qui rend évident ce principe : le tournant d'une voiture à deux roues est d'autant plus petit, que les brancards DE sont moins longs et la voie moins grande.

Il est visible du reste qu'on tournerait plus court, si l'on prenait pour pivot le point F où l'axe de l'essieu perce le plan de symétrie du système; d'ailleurs, cela ferait éviter l'obstacle que présente l'espèce d'entonnoir creusé dans le sol par la roue pivotante.

118. Une voiture à deux trains peut aussi tourner en pivotant sur une roue; mais le pivot est nécessairement alors le contact d'une des roues de derrière avec le sol, et pour que le mouvement soit possible, le premier essieu doit prendre une position telle que le prolongement de son axe passe par ce point; en d'autres termes, les axes des deux essieux doivent pouvoir former entre eux un angle déterminé et assez peu aigu, à quoi s'oppose la composition de presque toutes les voitures d'artillerie. Aussi, la charrette possède-t-elle un grand avantage sur la voiture à deux trains, sous le rapport du tournant; et cet avantage a tant d'importance qu'il est la seule cause de la conservation d'un modèle de charrette dans le nouveau matériel de l'artillerie de siège.

119. Puisque l'inclinaison qu'un des essieux peut prendre relativement à l'autre, influe sur la grandeur du tournant, nous devons faire entrer cette inclinaison dans l'expression du rayon

de l'arc décrit par l'extrémité du timon. A cet effet, nous la représenterons par la variable γ et nous l'appellerons *angle du tournant*.

Mais il y a deux cas à considérer, dans une voiture à quatre roues : celui où la cheville-ouvrière est placée précisément au-dessus de l'axe de l'essieu antérieur, et celui où elle se trouve en arrière. Occupons-nous d'abord du premier, et faisons pivoter l'avant-train sur la cheville-ouvrière D (fig. 26), pour l'amener dans une position telle que l'axe de son essieu passe par le point quelconque B, autour duquel on veut tourner; ce mouvement préparatoire s'exécute sans en occasionner aucun dans l'arrière-train, et l'effort qu'il nécessite, se réduit à celui qu'exige la résistance opposée par le terrain aux roues de devant.

Quand l'avant-train a pivoté, le rayon ρ du tournant est BA, et l'on a

$$\rho = \sqrt{AD^2 + BD^2}.$$

Soient l' la distance CD des axes des deux essieux au moment de leur parallélisme, l la distance AD de l'axe de l'essieu antérieur à l'extrémité A du timon. Il en résultera

$$BD = \frac{l'}{\sin \gamma} \quad \text{et} \quad \rho = \sqrt{l^2 + \frac{l'^2}{\sin^2 \gamma}}. \quad (1)$$

L'expression de ρ fait voir que ce rayon sera un minimum, quand $\sin \gamma$ atteindra son maximum et que les longueurs l , l' , seront aussi petites qu'elles peuvent l'être. Or, $\sin \gamma$ est à son maximum lorsque $BD = l'$, c'est-à-dire lorsque le centre B du tournant répond verticalement au milieu C de l'essieu de derrière; par conséquent, pour qu'une voiture à quatre roues, qui a sa cheville-ouvrière au-dessus de l'essieu, tourne dans le moindre espace possible, il faut que l'écartement des essieux soit à sa limite inférieure, que l'avant-train ait tout juste la longueur qui lui est nécessaire, et que la composition permette au premier essieu de se placer dans le plan de symétrie de l'arrière-train: quand il en est ainsi, la voiture peut pivoter même sur la verticale qui passe par le milieu de l'axe du second essieu.

120. Dans le cas où la cheville-ouvrière O est placée entre les essieux (fig. 27), l'avant-train ne peut plus prendre la position

nécessaire à la conversion de tout le système, sans que l'arrière-train pivote sur un point de l'axe de son essieu, puisque le point *O* est obligé de se mouvoir. Si donc le terrain opposait une forte résistance au mouvement des roues de derrière, il serait possible que l'effort exercé sur le timon fût assez grand pour le rompre.

La notation employée dans le premier cas servira dans celui-ci. Mais nous aurons à considérer de plus la distance *OD* de la cheville-ouvrière à l'axe de l'essieu antérieur. Désignons-la par *c*, et menons *OE* parallèlement à *BD*, *EF* parallèlement à *OD*. Nous aurons

$$\begin{aligned} BD &= DF + FB = OE + FB = \frac{l' - c}{\sin \gamma} + \frac{c}{\tan \gamma} = \frac{l' - c}{\sin \gamma} + \frac{c \cos \gamma}{\sin \gamma} \\ &= \frac{l' - c(1 - \cos \gamma)}{\sin \gamma}, \end{aligned}$$

et par conséquent,

$$f = \sqrt{l^2 + \left[\frac{l' - c(1 - \cos \gamma)}{\sin \gamma} \right]^2}. \quad (II)$$

Cette équation montre que le minimum de *f* répond au minimum de $\cos \gamma$, au maximum de $\sin \gamma$, à celui de *c* et aux plus petites valeurs que puissent recevoir *l*, *l'*.

Les conditions à remplir pour rendre propre à tourner dans le moindre espace possible, une voiture à quatre roues de l'espèce dont il s'agit, se composent donc de celles qui sont relatives au premier cas et de cette autre, que la distance de la cheville-ouvrière à l'axe de l'essieu antérieur doit être aussi grande qu'il est possible.

Il est encore facile de voir, en comparant les équations (I) et (II), que de deux voitures à quatre roues, dans lesquelles *l*, *l'* sont les mêmes et qu'on veut faire tourner autour d'un point situé à une distance déterminée d'une des roues de l'arrière-train, celle dont la cheville-ouvrière est placée entre les deux essieux, exige moins d'espace pour exécuter le demi-tour, que celle dont la cheville-ouvrière se trouve au-dessus de l'axe du premier essieu. Toutefois, la différence entre les rayons des deux tournans, est bien peu importante en réalité, car la distance *c* est

toujours assez petite pour que la quantité $c(1 - \cos \gamma)$ ne dépasse point les trois centièmes de l'intervalle des essieux.

Mais, si la position de la cheville-ouvrière entre les deux essieux, ne procure pas un grand avantage dans les conversions qui se font autour d'un point déterminé, elle permet de tourner autour d'un centre plus rapproché de la voiture; en d'autres termes, elle permet aux deux essieux de former un angle de tournant plus grand qu'aucun de ceux qu'on puisse obtenir d'une voiture dont la cheville-ouvrière est au-dessus de l'essieu antérieur; c'est ce que nous démontrerons bientôt.

ANGLE DU TOURNANT.

121. Parmi les quantités qui influent sur la grandeur du tournant des deux sortes de voitures à quatre roues, il en est qui se trouvent déterminées par des conditions étrangères au changement de direction, et dont par conséquent on ne peut disposer pour diminuer l'espace nécessaire au demi-tonr. Telles sont généralement la longueur de l'avant-train et la distance des essieux. C'est donc seulement en composant les voitures de manière à rendre l'angle du tournant aussi peu différent d'un angle droit qu'il est possible, qu'on parvient à leur donner le plus petit tournant qu'elles comportent, car en général on ne saurait faire parvenir un tel angle jusqu'à 90° .

En effet, lorsque la cheville-ouvrière est placée au-dessus de l'essieu, l'angle du tournant ne peut évidemment devenir droit que dans le cas où l'élévation soit des brancards, soit de la flèche, selon le système, permet aux roues de devant de passer sous ces pièces; mais alors le chargement et le déchargement sont très-difficiles à effectuer, et la grande élévation du centre de gravité rend la voiture versante. Il n'y a pas d'ailleurs à éviter ces inconvénients, en diminuant le rayon des roues de devant, puisqu'un tel moyen augmenterait considérablement le tirage.

Quand la cheville-ouvrière est entre les deux essieux, il suffirait pour rendre droit l'angle du tournant, quelles que fussent la hauteur des roues et l'élévation des brancards, de prendre pour c une longueur égale au rayon des roues de devant, augmenté de la demi-largeur du corps de voiture; mais plusieurs raisons s'opposent à ce que la cheville-ouvrière soit aussi éloignée de l'essieu antérieur.

L'angle du tournant ne pouvant être droit, doit avoir au moins une indication de 40° . L'expérience a fait reconnaître la nécessité de cette limite inférieure, pour les voitures dont les essieux sont écartés de 8 à 9 pieds, comme dans le système de *Gribeauval*. Mais, si l'on s'en tenait à une telle valeur pour γ , on ne pourrait plus exécuter le demi-tour sur les chemins qui auraient moins de 28 pieds en largeur, et dans les conversions rapides, où les chevaux ne sauraient être maîtrisés tout-à-fait, il arriverait souvent qu'une des roues de l'avant-train heurterait le corps de voiture, serait arrêtée tout-à-coup et deviendrait un appui au moyen duquel le système culbuterait, si le timon ne se brisait pas. La gravité et la probabilité de l'un ou l'autre de ces accidens font même qu'il importe d'obtenir un tournant court par un grand angle γ , plutôt que de le devoir au rapprochement des essieux.

122. Pour trouver les moyens de donner une grande valeur à l'angle du tournant, il faut rechercher quelles sont, dans les voitures, les dimensions qui influent sur cet angle. A cet effet, nous considérerons une voiture dont les brancards s'appuient sur les deux essieux, comme dans le chariot de parc; AB représentera l'axe longitudinal du système (fig. 28); AC sera celui de l'essieu antérieur; DE indiquera la face extérieure du brancard de droite, par exemple, et FG la face intérieure de la roue d'avant-train; G' sera supposé le point où cette roue touche le brancard DE quand, dans une conversion, l'avant-train se trouve arrêté par le corps de voiture; enfin, le point O marquera l'axe de la cheville-ouvrière.

Comme l'angle du tournant est formé par les directions qu'ont les axes des deux essieux pendant le demi-tour (119), il égale l'angle compris entre la position habituelle du premier essieu et celle qu'a la même pièce quand le prolongement de son axe aboutit au centre du tournant. Mais, de quelque manière qu'ait eu lieu le mouvement préparatoire, on peut lui donner la cheville-ouvrière pour axe, pourvu qu'en même temps on suppose fixe l'arrière-train. Par conséquent, l'angle du tournant est formé aussi par la position habituelle et la nouvelle position de toute droite horizontale menée d'un point quelconque de l'avant-train à l'axe de la cheville-ouvrière. Ainsi, l'arc GG' que décrit

le point G pour venir s'appliquer contre le brancard DE , indique le plus grand angle de tournant que puisse donner le système que nous considérons.

Il est visible que l'angle GOG' croît avec l'élévation des brancards au-dessus du sol : une plus grande portion de la roue s'engage alors sous le corps de voiture, et l'arc GG' devient nécessairement plus grand. Mais l'élévation des brancards a une limite qui doit n'être dépassée que dans le cas où leur longueur met dans l'impossibilité d'obtenir par d'autres moyens un tournant suffisamment court, ce qui arrive notamment pour le haquet à bateau. Il ne faut donc pas, en général, songer à augmenter l'angle du tournant des voitures, par l'exhaussement des brancards.

Si DE et AC étaient dans le même plan, G serait l'extrémité d'un rayon horizontal, et l'angle GOG' aurait sa moindre valeur. Le minimum de l'angle du tournant répond donc au cas où l'élévation des brancards égale le rayon des roues de devant.

Une moindre élévation ferait croître de nouveau GOG' ; mais pour qu'elle eût lieu, le point de réunion des trains devrait se trouver plus bas que l'axe de l'essieu antérieur, et il n'est pas ainsi placé. Un tel système aurait pourtant plus de stabilité que tout autre : le centre de gravité de l'arrière-train y serait moins élevé au-dessus du sol, et l'une des roues de devant venant à rencontrer le corps de voiture, ne pourrait le soulever, ni par conséquent briser l'articulation des deux trains, ou renverser celui de derrière. De tels accidens sont inévitables, lorsqu'il y a des brancards et que leur élévation approche de la hauteur des roues de devant ; aussi arrivaient-ils parfois au caisson à munitions de *Gribeauval*.

125. On pourrait aussi faire croître l'angle du tournant en diminuant l'écartement des faces extérieures des brancards : le point G' se trouverait alors plus éloigné circulairement du point G (fig. 28). Mais cet écartement dépend de l'espace qu'exige le chargement de la voiture ; et si les dimensions du fardeau peuvent varier, il sera néanmoins impossible d'en diminuer la largeur, sans augmenter soit la distance des essieux, soit l'élévation du centre de gravité, car le volume est invariable. Par conséquent, on ne peut pas toujours disposer de l'écartement des brancards, de manière à favoriser les conversions.

Nous nous bornerons donc à faire observer qu'il sera fort avantageux de substituer une flèche aux brancards, toutes les fois que les dimensions du chargement le permettront : alors, si les essieux sont très-écartés, on aura un angle de tournant suffisamment ouvert, même en employant des roues de devant assez hautes pour ne pas rendre le tirage fort difficile, et si l'arrière-train est peu long, l'angle du tournant pourra conserver encore une ouverture suffisante, lorsqu'on rendra les roues de devant égales à celles de derrière.

L'égalité des quatre roues offre un trop grand avantage, pour que nous n'indiquions pas comment on peut reconnaître le cas où le chargement que doit recevoir une voiture, permet de faire un arrière-train à flèche. Tout consiste à examiner si ce chargement n'empiétera point sur l'espace, dans lequel se meut l'une ou l'autre des roues de devant, pour venir prendre la position nécessaire au demi-tour le plus court. Or, l'examen oblige seulement à calculer la distance AB de la position qu'occupe habituellement l'axe AH de l'essieu antérieur, au point B où la roue va rencontrer la flèche BC (fig. 29). Cette distance se compose de deux parties AC et CB . On a pour la dernière,

$$BC = \sqrt{CD^2 + BD^2}.$$

Mais, si nous supposons que la cheville-ouvrière soit en O , entre les deux essieux, la droite CD est la demi-voie diminuée de la demi-largeur des bandes de roue. La droite horizontale $BD = BE - DE$, et BE se déduit fort aisément du rayon de la roue et de l'élévation de la flèche. Quant à DE ou CF , elle est égale à $OG - OC$. Mais on peut prendre au lieu de OC , la demi-largeur de la flèche : il en résulte que DE est un peu trop grande, et BD un peu trop petite, ainsi que BC . Cette erreur en moins se trouve à-peu-près compensée, si l'on considère AC comme égale à OG .

Le cas où la cheville-ouvrière se trouve au-dessus de l'essieu, est trop simple pour que nous nous y arrétions.

124. On pourrait encore accroître l'angle du tournant, en augmentant la voie, sans changer l'écartement des brancards, et en diminuant la hauteur des roues. Mais la voie est fixée à

56^{ème} 6^{lig}, et plusieurs considérations importantes s'opposent à ce qu'on la modifie (114); le rayon des roues a trop d'influence sur le tirage, pour qu'on puisse songer à descendre beaucoup au-dessous du maximum de leur hauteur. On peut même dire que cette hauteur est la dernière des choses sur lesquelles on doit opérer, à l'effet d'augmenter l'angle du tournant.

125. Enfin, le même angle devient d'autant plus grand que la cheville-ouvrière se trouve plus près de l'essieu d'arrière-train. Pour le faire voir, nous supposerons d'abord que la cheville-ouvrière soit placée en A (fig. 30), c'est-à-dire au-dessus du premier essieu. Alors l'angle du tournant sera GAG'' d'après ce qui a été dit précédemment (122). Reculons ensuite l'articulation jusqu'en O, par exemple; cet angle devient GOG' et le point G' est plus éloigné de l'essieu antérieur que G'', si l'arc GG' rencontre AB au-delà de l'intersection de GG''. Or ces arcs se coupant en G, ne pourront plus se couper une seconde fois qu'au-delà de la droite des centres AO, et puisque la ligne brisée AO + OG ou AI est plus grande que AG, l'arc GG' rencontrera nécessairement AB en un point I plus éloigné de A que celui où GG'' coupera la même droite. Ainsi, l'oblique GG' est plus longue que l'oblique GG''; et comme le rayon OG est plus court que AG, il est clair que l'arc GG' contient plus de degrés que l'arc GG''.

Les mêmes raisonnemens nous feront voir que l'angle du tournant augmente à mesure que la cheville-ouvrière se rapproche de O', pied de la perpendiculaire abaissée de G sur AB. Quant aux positions plus éloignées de A que O', elles accroissent aussi l'angle du tournant; mais il faut recourir à d'autres moyens pour s'en convaincre. Si nous observons d'abord que l'angle GO''B est plus grand que l'angle GO'B, il nous restera seulement à examiner la relation des angles G''O''B, G'''O''B. Or, les sinus G''H'', G'''H' de ces angles sont égaux, et le rayon O''G du premier est plus grand que le rayon O'G du second. Par conséquent, c'est l'angle G''O''B qui a le plus petit sinus pour le rayon 1, ou bien G''O''B est plus petit que G'''O''B; d'où il suit que l'angle du tournant GO''G'' est plus grand que l'angle du tournant GO'G'''.

126. Mais, la roue de devant située à l'opposite de la conversion, met une limite aux accroissemens produits par le reculement

de la cheville-ouvrière ; car si, en raison d'une certaine position de l'articulation, cette roue est arrêtée par le brancard qui se trouve du même côté, avant que son opposée ne soit arrêtée par l'autre brancard, l'angle du tournant ne pourra pas atteindre la grandeur qu'il devrait avoir. Or, le cas est possible, comme on va le voir.

Lorsque la cheville-ouvrière est au-dessus de l'axe du premier essieu, tout ce qui a lieu pour l'une des roues de devant, a lieu aussi pour l'autre, et les brancards peuvent être indéfiniment prolongés en avant, sans que l'angle du tournant change. Mais, quand le point O est entre les essieux, il n'en est plus de même : pendant que le point G décrit l'arc Gg (fig. 31), un point G' placé sur la roue de gauche et autant éloigné de O que l'est G , décrit un arc $G'D'$ égal à Gg , et tout point de la même roue situé entre G' , F' , décrit un arc plus grand qui ne peut être contenu entre les parallèles $D'E'$, $F'G'$; de sorte que si le brancard $D'E'$ se prolongeait en avant de D' , la roue de gauche serait arrêtée avant la roue de droite. C'est donc au point D' que doit se terminer le brancard, quand la cheville-ouvrière est en O , pour que l'angle du tournant soit tout ce qu'il peut être ; ou bien, si l'extrémité du brancard est un point placé en avant de D' , il faut que l'articulation se trouve sur AB à égales distances de ce point et de G ; c'est-à-dire que la position de la cheville-ouvrière se détermine par la rencontre de l'axe AB et d'une perpendiculaire élevée au milieu de GD' , quand l'extrémité du brancard est fixée à l'avance.

Il est clair, d'après cela, que le point O sera d'autant plus éloigné du premier essieu en arrière, que D' en sera moins éloigné en avant ; car GD' se trouvera d'autant plus courte, d'autant moins oblique par rapport à AB , et sa perpendiculaire ira couper cette dernière droite de plus en plus loin. Par conséquent, la distance AO ou c de la cheville-ouvrière à l'axe de l'essieu antérieur sera un maximum, et l'angle du tournant aussi, quand les extrémités D , D' des brancards répondront verticalement à cet axe.

Soient alors k la distance CG du même axe au point par lequel la roue qui est du côté de la conversion, va toucher le brancard, e la demi-largeur du corps de voiture, b la distance d'une roue

à la face extérieure du brancard opposé et parallèle; $b - e$ sera la demi-voie diminuée de la demi-largeur des bandes, et l'on aura

$$c^2 = \overline{OD}^2 - e^2 = \overline{OG}^2 - e^2 = (b - e)^2 + (k - c)^2 - e^2,$$

puis

$$c = \frac{(b - e)^2 + k^2 - e^2}{2k}. \quad (\text{III})$$

Telle est donc la limite de la distance à laquelle l'axe de la cheville-ouvrière peut se trouver en arrière de celui de l'essieu antérieur; cette limite permettra d'obtenir par un tracé fort simple, le plus grand angle de tournant que puisse avoir une voiture à brancards, et la tâche du constructeur sera d'approcher le plus possible de cet angle.

127. On peut, au reste, trouver facilement la valeur du sinus de l'angle GOg ou γ , en fonction de c . Comme $GOg = GOB - gOB$, $\sin \gamma = \sin GOB \cos gOB - \sin gOB \cos GOB$. Or, $\sin GOB = \frac{b - e}{OG}$,

$$\sin gOB = \frac{e}{OG}, \quad \cos GOB = \frac{k - c}{OG}, \quad \cos gOB = \sqrt{1 - \frac{e^2}{OG^2}}, \text{ et}$$

$$OG = \sqrt{(b - e)^2 + (k - c)^2}; \text{ par conséquent,}$$

$$\sin \gamma = \frac{(b - e)\sqrt{(b - e)^2 + (k - c)^2 - e^2} - e(k - c)}{(b - e)^2 + (k - c)^2}. \quad (\text{IV})$$

Substituant à c sa valeur maximum, ou faisant $c = 0$, selon le cas, on trouvera par l'équation (IV), la plus grande valeur de l'angle du tournant pour une voiture donnée, et en combinant les équations (II), (IV), on obtiendra le minimum du rayon de tournant relatif au second cas.

MODES D'ENRAYEMENT.

128. Pour terminer ce qui concerne les voitures, il ne nous reste plus qu'à décrire et à examiner les divers modes d'enrayement employés, c'est-à-dire les diverses manières de s'opposer, dans certaines descentes, à l'action du poids total, afin de diminuer l'effort que les chevaux de derrière sont obligés de faire pour retenir le système (58).

Il est facile de comprendre qu'un mode d'enrayement doit, pour être parfait, pouvoir augmenter la résistance seulement autant que l'inclinaison et la nature du sol l'exigent, permettre de faire varier les parties des bandes de roue qui frottent sur le terrain, rendre faciles et promptes l'opération d'enrayer et celle de désenrayer, ne nuire en rien à l'indépendance des trains ni au service de la voiture, enfin être simple et solide.

ENRAYEMENT DU ROULAGE.

129. Le mode usité pour la plupart des voitures du roulage, est bien près de la perfection : l'enrayure consiste en une pièce de bois qui porte à ses extrémités deux plaques de frottement ; on presse ces deux plaques contre les bandes des roues, au moyen d'une vis à écrou fixe, qui traverse la pièce de bois.

Comme le mécanisme est placé sous le corps de voiture et en arrière du dernier essieu, les trains restent indépendans, et le service du roulage, qui consiste à transporter des fardeaux, n'est nullement entravé. Un seul homme suffit pour enrayer et désenrayer promptement, sans arrêter la voiture, puisqu'il ne s'agit que de tourner la manivelle de la vis, dans un sens ou dans l'autre. La pression des plaques sur les bandes de roue peut être graduée selon la raideur de la descente et la dureté du sol ; de sorte qu'on a le très-grand avantage de pouvoir diminuer et même rendre nul l'effort rétrograde des chevaux de derrière, sans empêcher absolument les roues de tourner en avançant : par là ces roues se trouvent à-peu-près dans les circonstances ordinaires du transport et n'éprouvent aucune action extraordinaire qui tende à les détériorer ; il n'y a pas effectivement à regarder comme très-nuisible, le frottement des plaques, puisque ce frottement, réparti sur toute la largeur des bandes, ne saurait en diminuer l'épaisseur d'une quantité notable, pendant la plus longue descente. Enfin, dans le cas où l'on est obligé d'empêcher les roues de tourner, il est facile de faire varier le contact des bandes et du sol, et de prévenir ainsi la forte usure qui résulterait du frottement continu des mêmes points ; il ne s'agit pour cela que de diminuer la pression des plaques pendant un seul instant, et tout juste autant qu'il faut pour que les roues tournent un peu.

Malheureusement, l'enrayement du roulage est trop compliqué et n'a pas assez de solidité, pour convenir à l'artillerie; il nuirait d'ailleurs au service de plusieurs espèces de voitures, par la position qu'il doit avoir.

ENRAYEMENT DE GRIBEAUVAL.

130. On n'enraye qu'une seule roue dans l'artillerie, et c'est toujours une des roues de gauche, parce que le conducteur se trouve de ce côté. Un tel mode a bien l'inconvénient de ne point permettre de profiter de l'avantage qu'il y aurait, dans certaines descentes, à enrayer à droite, mais ce cas se présente fort rarement. On évite d'ailleurs d'user la roue enrayée plus que l'autre du même essieu, en les changeant de côté de temps à autre.

Il y avait, dans le système de *Gribeauval*, deux enrayures différentes : la première, destinée aux voitures de l'équipage de campagne, était une chaîne appelée *chaîne d'enrayage*; la seconde, un cordage proprement nommé *enrayure*, qui pouvait servir pour toutes les voitures, mais qui était spécialement employé dans l'équipage de siège.

La chaîne d'enrayage de *Gribeauval* était composée de deux parties inégales qui portaient d'un gros anneau solidement fixé au corps de voiture. La partie la plus longue se trouvait du côté de la roue de derrière et se terminait par un second anneau. La partie la plus courte finissait par une *clef*. Pour enrayer, on passait la première partie entre une jante et le moyeu, au-dessous d'un rais, puis on en ramenait l'anneau en avant, et l'on y introduisait la *clef* de la seconde; un troisième anneau porté par une des mailles du milieu de la partie la plus courte, servait à maintenir la *clef* repliée sur cette même partie, et par conséquent, à fermer la chaîne.

Un tel mode d'enrayement ne permet pas évidemment de faire varier l'obstacle qu'il oppose, proportionnellement à la raideur des pentes et à la dureté du sol : une fois que la chaîne est tendue, la roue enrayée ne tourne plus, et la bande frotte sur le terrain à raison de la pression normale, c'est-à-dire d'autant plus que l'inclinaison est moins grande, au contraire de ce qui devrait avoir lieu. Comme on ne peut enrayer ni désenrayer sans arrêter la voiture, la marche de l'équipage est considéra-

blement retardée, lorsque le nombre des voitures est grand, et l'on est obligé de laisser frotter la même partie de la bande de roue, pendant toute la descente; de là une usure très-appreciable, quand la pente est longue, raide, raboteuse, et sur-tout quand la voiture porte un lourd fardeau. De plus, au moment où l'on veut désenrayer, la chaîne se trouve tellement tendue, qu'on ne peut faire l'opération sans que la voiture recule.

131. Toutefois, il faut reconnaître que ce mode d'enrayement a toute la simplicité et la solidité désirable, et que la chaîne d'enrayage, fixée au corps de voiture, embrassant une jante de la roue de derrière, ne nuit en rien à l'indépendance des trains : la voiture peut changer de direction pendant qu'elle est enrayerée et sans que la chaîne cesse d'être tendue, ce qui ne pourrait se faire si cette chaîne étant fixée à l'un des trains, embrassait une jante de la roue de l'autre. Il est vrai aussi que le service des affûts, et celui des autres voitures ne sont nullement gênés par l'enrayement, ni par la manière dont l'appareil est placé quand on ne descend pas. Il est vrai enfin que par suite de la position de cet appareil, l'homme qui enrayer ou qui désenrayer a toute facilité pour saisir les deux parties de la chaîne et embrasser la jante, ou pour accrocher la partie la plus longue, quand la descente est terminée.

132. Mais, outre les défauts que nous avons déjà signalés, le mode d'enrayement de *Gribeauval* en a encore un autre, qui provient de ce que la tension de la chaîne produit une force par laquelle la roue est tirée selon une direction oblique relativement au plan des jantes; car cette tension se décompose : l'une des parties agit dans le plan des jantes et produit seule l'enrayement; l'autre, perpendiculaire à ce plan, ne sert qu'à fatiguer la roue et l'essieu, et à augmenter inutilement la tension des mailles.

On atténue ce défaut autant qu'il est possible, en fixant la chaîne tout auprès du point où la roue de devant peut venir appuyer contre le corps de voiture, dans les changemens de direction (125), et en faisant cette même chaîne assez longue pour que l'endroit où elle embrasse la jante, se trouve très-voisin de celui où la bande touche le sol.

La chaîne d'enrayage reçoit par là toute la longueur qu'elle

peut avoir ; l'angle formé par sa direction et le plan des jantes , se trouve réduit à-peu-près au minimum ; la partie de la tension propre à empêcher la roue de tourner , est portée à-peu-près au maximum ; celle qui nuit à la roue et à l'essieu , se trouve affaiblie autant qu'elle peut l'être , et toutes choses égales d'ailleurs , les mailles sont moins exposées à se rompre.

On obtient encore un autre bon effet de ces dispositions : les chocs qu'éprouve la roue enrayée , lui nuisent beaucoup moins qu'ils ne feraient dans le cas où la partie frottante serait éloignée de celle qui est maintenue par la chaîne , comme par un point fixe.

Les vibrations qui , par suite de la fixité de la roue , résultent des chocs dirigés en tous sens , ne se trouvent pourtant pas entièrement détruites ; elles sont même encore très-sensibles dans les descentes rabotenses. Aussi occasionnent-elles un frottement très-rude de la chaîne contre la jante embrassée et le rais soutenu. De là une usure d'autant plus prompte , que la position de la roue ne peut être changée , tant qu'on descend. Mais , comme ce défaut tient à l'emploi d'une chaîne , on y remédiait par l'enrayure (130), dans les voitures très-chargées où il était fort grave.

L'enrayure se terminait par deux boucles ; elle était fixée au corps de voiture ; on lui faisait embrasser une jante ; puis , après avoir introduit une des boucles dans l'autre , on l'arrêtait au moyen d'un billot qui avait la forme d'un piquet de tente : elle ne changeait donc rien au mode d'enrayement.

ENRAYEMENT A SABOT.

135. Plusieurs des défauts que nous avons reconnus au mode d'enrayement de *Gribeauval* , disparaîtraient , si , au lieu d'une chaîne à clef ou d'une enrayure , on employait le sabot des diligences , des malle-postes , etc. Mais nous verrons tout à l'heure que ces défauts seraient remplacés par un autre beaucoup plus grave.

Le sabot est attaché à l'arrière-train au moyen d'une chaîne , et il doit pouvoir être placé de manière que , reposant sur le sol , son milieu se trouve en contact avec la bande. Pour lui donner cette position , on le pose devant la roue , et l'on fait avancer la voiture ; il ne prend d'abord aucun mouvement , parce que la

chaîne n'est pas encore tendue ; mais bientôt la roue l'atteint et monte dessus ; au moment où le contact se fait à-peu-près au milieu , la chaîne se trouve tendue , le sabot est entraîné ; il n'y a plus de mouvement de rotation , parce que la roue repose alors sur un corps animé de la même vitesse qu'elle , et le frottement de seconde espèce de la bande se trouve remplacé par le frottement de première espèce du sabot contre le sol.

On voit par là que le sabot doit être en fer ; s'il était en bois , il serait promptement ou écrasé ou usé. Il a besoin aussi d'avoir ses longs bords relevés en oreilles , afin qu'il tienne la jante comme encastrée et que les chocs latéraux ou la traction de la chaîne ne puisse le dégager de dessous la roue.

L'enrayement à sabot n'use ni les jantes , ni les rais , ni même les bandes ; il atténue autant qu'il est possible les effets des vibrations que les chocs communiquent à la roue ; il porte au maximum la partie de la tension de la chaîne qui tire le sabot dans le plan des jantes , et au minimum celle qui nuit ; par conséquent , la tension totale est aussi faible qu'elle peut l'être. Mais on ne saurait enrayer ni désenrayer sans arrêter la voiture ; la seconde opération exige même un mouvement rétrograde , et l'intensité de l'obstacle opposé à la rotation , varie à l'inverse de l'inclinaison et de la dureté du sol.

A ces défauts , il faut ajouter celui que nous avons annoncé comme très-grave. La partie de la tension de la chaîne qui agit perpendiculairement au plan des jantes , tend à rapprocher le sabot de l'axe de la voiture , et presse conséquemment l'oreille extérieure contre la roue ; cette oreille peut donc être renversée , brisée même , malgré la bonne qualité du métal , puisque le pli rompt le nerf du fer , et dès lors la voiture roule librement. Les nombreuses expériences auxquelles le nouveau matériel de l'artillerie de campagne a été soumis , ont fait reconnaître qu'effectivement l'oreille extérieure du sabot se brise fort souvent , et qu'aussitôt la roue cesse d'être enrayée.

ENRAYEMENT DU NOUVEAU MATÉRIEL.

134. Les expériences dont il vient d'être question , ont constaté aussi que la rupture de la chaîne d'enrayage est beaucoup moins fréquente que celle de l'oreille du sabot : on l'a donc

conservée dans la nouvelle artillerie; elle y est même employée pour l'équipage de siège. Mais en adoptant l'enrayement à chaîne pour toutes les voitures, on a voulu prévenir les mauvais effets qu'il produit sur les jantes et les rais de celles qui sont très-chargées, et à cette fin, la partie de chaîne destinée à se trouver en contact avec la roue, est remplacée par un bout de cordage. Du reste, la nouvelle enrayure des voitures de siège ressemble à celle qu'avaient autrefois les autres voitures (130).

Quant à la chaîne d'enrayage du nouvel équipage de campagne, elle diffère un peu de celle de l'ancien matériel, bien qu'elle soit aussi toute en fer : à l'une de ses extrémités se trouve l'anneau qui la fixe au corps de voiture; à l'autre est la clef; de sorte qu'elle n'est pas divisée en deux parties par le point d'attache. L'anneau dans lequel s'engage la clef pour fermer la chaîne, est porté par une maille située à une certaine distance de l'extrémité fixe. Il en résulte que la nouvelle chaîne est doublée seulement sur une partie de sa longueur, quand elle enraye, et que chacune des mailles de la partie qui reste simple, supporte une tension double de celle des autres. Ainsi, relativement à sa résistance, cette chaîne d'enrayage est inférieure à l'ancienne.

ENRAYEMENT DES CHARRETTES.

135. Le mode d'enrayement en usage dans l'artillerie, est applicable, ainsi que tous les autres, aux voitures à deux roues, comme aux voitures qui en ont quatre; mais la charrette est assez légère pour qu'on puisse se dispenser de l'enrayer dans les cas ordinaires. Aussi, ne porte-t-elle point de chaîne d'enrayage.

Si une circonstance se présente où il soit absolument nécessaire d'augmenter la résistance qui s'oppose au mouvement des deux roues, on peut employer une enrayure proprement dite (132); mais il faut pour cela que le sol soit uni; car sur un chemin raboteux, l'enrayement d'une seule roue pourrait occasionner des oscillations horizontales, capables de renverser le limonier, dont la position est toujours forcée pendant que la voiture descend. Dans un tel cas, il convient d'augmenter la résistance sans empêcher aucune des deux roues de tourner, et c'est à quoi l'on peut parvenir, en attelant le porteur en retraite sur le derrière de la voiture.

DEUXIÈME PARTIE.

AFFÛTS.

La théorie des voitures, dont nous venons de terminer l'exposition, est applicable aux affûts regardés comme machines propres à transporter des fardeaux. Mais ce n'est pas de cette destination qu'il importe le plus de s'occuper : si la considération du transport doit exercer une grande influence sur la composition des affûts de campagne, qui ont à rouler avec rapidité et dans toute sorte de chemins, elle peut être négligée presque entièrement, lorsqu'il s'agit des affûts de côte, par exemple : ceux-ci ont plutôt à satisfaire aux conditions qu'impose le tir, qu'à celles du service des voitures.

Quoi qu'il en soit, c'est seulement sous le rapport des effets du tir, que nous avons maintenant à étudier les affûts. Ces effets sont de deux sortes : l'action de la poudre produit d'abord des percussions sur les diverses parties de la machine, puis de ces percussions naît un mouvement de recul.

CHAPITRE PREMIER.

THÉORIE DES PERCUSSIONS.

L'objet de ce premier chapitre est d'établir les valeurs générales des chocs qu'éprouvent dans le tir, les points par lesquels s'appuient la pièce sur l'affût et l'affût sur le sol, afin d'en déduire des principes de tracé propres à donner la plus grande solidité possible à la machine, sans nuire à sa mobilité. Mais,

avant tout, nous devons nous occuper de l'effort que la poudre enflammée exerce sur la bouche à feu.

ACTION DE LA POUDRE.

136. Le fluide élastique et expansif que produit l'inflammation d'une charge de poudre, agit avec la même force dans tous les sens. Le récepteur où ce fluide se développe, restera donc en équilibre, s'il est fermé de toutes parts et qu'il offre une résistance suffisante en chaque point de sa surface interne. Mais qu'une des parois vienne à céder, l'action du gaz sur la paroi opposée n'étant plus contrebalancée, engendre aussitôt une vitesse et met le récepteur en mouvement, quand des causes étrangères ne s'y opposent pas. Conséquemment, le recul tend à naître dès que le projectile est ébranlé, et à chaque instant, l'effort sur le fond de l'âme serait égal à celui qui pousse ce projectile selon l'axe de la pièce, si les diamètres étaient égaux et qu'on pût faire abstraction de la quantité de mouvement imprimée à la masse fluide dont une partie est chassée en même temps que le boulet.

Lagrange est le premier qui ait remarqué l'influence de la quantité de mouvement que doit acquérir la masse gazeuse. Il a traité ce sujet dans des recherches manuscrites sur la force de la poudre ; mais sans intégrer l'équation différentielle à laquelle il est parvenu. Un extrait de ces recherches a été inséré, accompagné d'un commentaire par *M. Poisson*, dans le XXI^e cahier du Journal de l'école Polytechnique. *M. le capitaine d'artillerie Piobert* s'est aussi occupé de la même question, et il en a donné une solution complète et applicable : ses formules font trouver la quantité de mouvement réellement imprimée à une bouche à feu dont on connaît, en kilogrammes, le projectile et la charge de poudre.

On peut encore calculer le rapport des efforts simultanément exercés sur le projectile et la pièce, en consultant les résultats des expériences qu'a faites *Hutton*, pour trouver les vitesses initiales, au moyen du canon-pendule et du pendule balistique employés à la fois. Il appert alors que la quantité de mouvement du canon est toujours supérieure à celle du boulet, et que

leur rapport croît constamment avec la charge de poudre, tant que le calibre ne change pas.

Nous pouvons donc supposer connu l'effort exercé sur le fond de l'âme, parallèlement à l'axe. Cet effort imprimant une certaine vitesse V à la masse m de la bouche à feu, sera représenté par mV .

ACTION DE LA PIÈCE.

157. Les effets du tir sur l'affût sont dus à la quantité de mouvement mV que possède la pièce. Ils commencent à la rigueur avant que cette force ait acquis toute son intensité; mais comme la vitesse V est imprimée dans un temps extrêmement court, nous pouvons bien supposer que la masse m s'en trouve animée tout-à-coup.

Les premiers effets de l'impulsion mV sont des percussions sur les points d'appui; mais il peut arriver, selon la grandeur de l'angle de tir, que les roues restent en contact avec le sol et supportent sur leurs jantes une partie du choc de la pièce, ou que ce choc les soulève, en faisant tourner l'affût autour de la ligne selon laquelle s'appuient les crosses.

La détermination des percussions présente donc deux cas fort distincts. *M. Poisson* les a traités tous les deux dans un mémoire publié par ordre du ministre de la guerre, où, pour la première fois, les principes de la Mécanique ont été rigoureusement appliqués à la question qui nous occupe, et peut-être suffirait-il de rapporter les résultats de ce savant travail. Mais nous croyons devoir entrer dans quelques détails sur le cas où l'affût conserve ses quatre appuis : s'il n'est pas le plus important, il est le plus simple, et ce que nous dirons fera mieux comprendre ce qui se passe quand les roues sont soulevées.

ROUES COMPRIMÉES.

158. Pour étudier plus aisément le cas où les roues restent sur le sol, y sont comprimées par l'action de la pièce, nous supposons le système rigide, invariable et dénué d'élasticité; le terrain sera même regardé comme incapable de restituer la moindre partie de la vitesse perdue contre les points d'appui; mais afin d'embrasser toutes les circonstances qui peuvent accompagner

celle dont il s'agit dans cet article, nous désignerons par ψ l'angle quelconque compris entre l'horizon et le plan sur lequel repose l'affût, lorsque ce plan s'élève des roues vers les crosses (fig. 32), par φ l'angle des mêmes plans, quand le contact des crosses se trouve plus bas que celui des roues, et par θ l'angle de tir, c'est-à-dire celui que fait l'axe de la bouche à feu avec une horizontale. Les deux angles φ , θ sont indépendans l'un de l'autre : quel que soit le premier, le second est invariable, tant que la position du but à toucher ne change pas relativement à l'axe des tourillons.

Les autres quantités à considérer seront notées comme il suit :

h distance du centre de gravité du système au plan d'appui ;

a , b distances du même centre aux normales du sol élevées par les points d'appui des crosses et des roues ;

c distance du même centre à l'axe de l'âme ;

M masse totale du système formé par la pièce et l'affût ;

V , vitesse qu'au moment du recul, prend chaque point de cette masse, parallèlement au sol ;

N percussion des crosses contre le plan d'appui ;

R percussion des roues contre le même plan ;

f coefficient du frottement de première espèce.

La force motrice du système (136) égale mV ; elle est appliquée au fond de l'âme, selon l'axe de la pièce et en sens contraire de la marche du boulet ; elle engendre les deux percussions N , R et la force MV , qui pousse le centre de gravité de M en arrière, parallèlement au sol ; ces trois forces à leur tour font naître les frottemens de première espèce Nf , Rf qui s'opposent au recul ou à l'effet de MV ; car, dans le premier moment, les roues, vivement entraînées par l'affût, ont une vitesse de rotation moindre que leur vitesse de translation, et glissent sur le sol comme les crosses. On comprend d'ailleurs que Nf , Rf sont les résultantes des frottemens exercés par les deux crosses, par les deux roues, et agissent dans le plan de symétrie de l'affût, comme MV .

Le système n'est soumis à aucune autre force, pendant l'action de mV , attendu que la durée de cette action est le temps extrêmement court employé par le boulet à parcourir l'âme, que les effets de la pesanteur pour un tel temps sont négligeables, et qu'en conséquence, on peut faire abstraction du poids total.

Donc, puisque la masse M se meut avec la vitesse V , la force MV , prise en sens contraire de son action, les réactions du sol, et les deux frottemens, doivent faire équilibre à l'impulsion mV .

Regardant mV comme une force positive, nous donnerons le signe — à MV , et aux frottemens Nf , Rf , qui s'opposent directement au recul. Les réactions N , R contre les crosses et les roues seront affectées du signe +; de sorte que toute force qui agira normalement au sol et de haut en bas, c'est-à-dire en sens contraire des deux réactions, devra être négative.

Ainsi, mV aura pour composantes $mV \cos(\theta \pm \psi)$ parallèle au sol et $-mV \sin(\theta \pm \psi)$ perpendiculaire; car $\theta \pm \psi$ est évidemment l'angle formé par la direction de la force motrice et la ligne de plus grande pente du terrain.

Tout cela posé, nous aurons, en imitant ce qui a été fait pour les voitures (65), et en regardant le centre de gravité de M comme centre des momens, les trois conditions d'équilibre

$$mV \cos(\theta \pm \psi) - MV - Nf - Rf = 0,$$

$$N + R - mV \sin(\theta \pm \psi) = 0,$$

$$mVc + (N + R)fh + Rb - Na = 0.$$

Elles donnent

$$MV = mV [\cos(\theta \pm \psi) - f \sin(\theta \pm \psi)], \quad (I)$$

$$N = mV \frac{(b + fh) \sin(\theta \pm \psi) + c}{a + b}, \quad (II)$$

$$R = mV \frac{(a - fh) \sin(\theta \pm \psi) - c}{a + b}, \quad (III)$$

pour valeurs de la force du recul et des quantités de mouvement consommées tant sur les crosses que sur les roues.

159. La même méthode est applicable à la recherche des percussions qu'éprouvent les encastremens et la vis de pointage. Les réactions qui en résultent sur les tourillons et la plate-bande de culasse, jointes à la force $-mV$, appliquée au centre de gravité de m , doivent faire équilibre à la force motrice mV , puisqu'en vertu de cette force, la pièce se meut avec la vitesse V , (fig. 33).

La réaction des encastremens sur l'axe des tourillons donne

une force $+S$ qui agit normalement au sol, de bas en haut, et une force $-T$ parallèle à la direction du recul, mais de sens contraire.

Si U désigne l'intensité de la percussion sur la vis de pointage ou la réaction contre la plate-bande de culasse, et que θ' soit l'angle formé par l'axe de la vis avec la perpendiculaire au sol, cette réaction fournira une force $+U \cos \theta'$ normale et une force $+U \sin \theta'$ parallèle, dans le sens du mouvement.

Les composantes de mV seront d'ailleurs, comme précédemment, $mV \cos(\theta \pm \psi)$, $-mV \sin(\theta \pm \psi)$.

Si donc nous prenons pour axe des momens celui des tourillons et que nous désignons par l , p , p' respectivement, les distances de cet axe à la direction de U , à l'axe de l'âme et à la parallèle au sol menée par le centre de gravité de la pièce, les conditions de l'équilibre seront

$$mV \cos(\theta \pm \psi) + U \sin \theta' - mV, -T = 0,$$

$$S + U \cos \theta' - mV \sin(\theta \pm \psi) = 0,$$

$$mVp - mV, p' - Ul = 0.$$

On en déduit, pour les quantités de mouvement consommées sur l'affût,

$$T = m[V \cos(\theta \pm \psi) - V,] + U \sin \theta', \quad (\text{IV})$$

$$S = U \cos \theta' - mV \sin(\theta \pm \psi), \quad (\text{V})$$

$$U = \frac{m}{l} (V, p' - Vp). \quad (\text{VI})$$

Les deux premières valeurs font connaître l'angle θ'' formé par la direction de la percussion sur les encastremens et une parallèle au sol; car évidemment

$$\tan \theta'' = \frac{S}{T}. \quad (\text{VII})$$

140. Le mouvement brusque de l'affût cause sur les boîtes de roue, une percussion de laquelle naît un frottement. Ce frottement peut être négligé, et la percussion, oblique par rapport au plan d'appui, se décompose. Sa partie B parallèle à ce plan est évidemment égale à la quantité de mouvement communiquée à la masse m' des roues, augmentée de celle qui est détruite par le frottement. On a donc

$$B = m'V, + Rf. \quad (\text{VIII})$$

Quant à la percussion qu'éprouvent les boîtes normalement au sol et de haut en bas, elle ne saurait différer de celle qui est exercée par les roues contre le plan d'appui; sa valeur est donc donnée par l'équation (III), au signe près.

Avant de dire ce qu'apprennent les huit formules précédentes, nous devons faire remarquer qu'en y reudant $\downarrow$ nul, on obtient celles qu'a données M. Poisson, pour le cas où l'affût repose sur un plan horizontal que ne quittent point les roues.

141. Dans les batteries à plates-formes, on reud $\downarrow$ positif, afin que le recul soit moins grand. Si, pour ce cas, l'angle de tir θ reste toujours le même, l'équation (I) montre que V_1 , vitesse initiale du recul, décroît à mesure que l'inclinaison du sol augmente, et les équations (II), (III) font voir qu'au contraire la percussion des crosses et celle des roues s'accroissent.

On ne peut rien conclure de l'équation (IV), pour la percussion qu'exercent les tourillons sur les encastremens, parallèlement au plan d'appui; car $U \sin \theta'$ varie fort peu et les deux autres parties de T , qui ont des signes contraires, diminuent quand $\downarrow$ augmente.

L'équation (V) prouve que S s'accroît et que, par suite, l'affût souffre davantage, si l'inclinaison du terrain devient plus grande. La même conséquence se tire encore de ce que la vitesse initiale du recul est moindre.

Quant à la percussion de la plate-bande de culasse sur la vis de pointage, elle reste constante malgré les variations de $\downarrow$, puisque cet angle n'entre pas dans la valeur de U .

A la vérité, ce qui vient d'être dit des crosses et des roues, suppose que les distances a, b, c, h , lignes du tracé, ne changent point avec $\downarrow$, et cela n'est pas d'une exactitude rigoureuse: pour atteindre un but donné, quand $\downarrow$ augmentant exhausse les crosses, on est obligé d'abaisser un peu la culasse, afin que l'angle de tir θ ne change point; de sorte que le centre de gravité de la pièce, puis celui de la masse totale M se déplacent, et que les lignes du tracé varient. Mais, il est aisé de le voir, les déplacements des centres de gravité sont très-petits, et par suite, les variations des lignes du tracé peuvent être négligées.

142. Supposons maintenant deux affûts, qui, très-différens par leurs tracés, aient néanmoins même masse, portent des bouches

à feu égales, et soient placés dans les mêmes circonstances de tir. D'après les formules, ils auront tous deux la même vitesse initiale de recul; les chocs sur les encastremens ne différeront ni pour l'intensité, ni pour la direction, et la somme des percussions exercées par les crosses et les roues, sera dans l'un ce qu'elle sera dans l'autre, car cette somme, $N + R = mV \sin(\theta \pm \psi)$, ne saurait varier avec le tracé; sa répartition entre les points d'appui peut seule changer. Mais la répartition elle-même est presque sans importance, dans les affûts qui ne permettent pas de donner à θ plus de 10 à 12° , puisque pour de tels angles de tir, N et R sont nécessairement très-faibles, ainsi que nous le verrons bientôt.

Ils'ensuit que les principales dégradations des affûts de canon et d'obusier sont indépendantes du tracé, car elles consistent dans la rupture ou l'éclat des flasques, et ces effets ont pour causes les forces S , T , N , R , U . Ainsi, le tracé aurait très-peu d'influence sur la conservation des affûts, si les roues n'étaient jamais soulevées.

143. L'équation (III) sert encore à voir dans quelles circonstances les roues se soulèvent. Il est clair d'abord qu'elles seront comprimées contre le sol, tant qu'on aura $R > 0$, et qu'elles cesseront de l'être dans le cas de $R = 0$ ou de $\sin(\theta \pm \psi) = \frac{c}{a-fh}$.

Si donc on a $\sin(\theta \pm \psi) < \frac{c}{a-fh}$, les roues seront soulevées, et les formules précédentes ne se trouveront plus applicables.

Ainsi, plus le tracé rendra petite la quantité $\frac{c}{a-fh}$, et moins il y aura de circonstances de tir où ce tracé influera sur la détérioration de l'affût, car les roues seront moins souvent soulevées.

Or, pour donner une moindre valeur à $\frac{c}{a-fh}$, il faut diminuer c et h ou rapprocher de l'axe de l'âme et du sol, le centre de gravité de la masse totale, puis augmenter a ou éloigner ce même centre de la ligne d'appui des crosses. Il est visible, du reste, que moins le terrain sera rude, moins aussi les roues seront exposées à être soulevées, puisque f deviendra d'autant plus petit.

144. Avant de terminer cet article, nous indiquerons la ma-

nière de calculer numériquement, d'après les formules, les chocs qu'éprouvent, dans le tir, les diverses parties de l'affût.

Il est clair que l'unité des nombres fournis par les valeurs des percussions, ne peut être le simple kilogramme; car adopter une pareille unité, ce serait assimiler l'effet du choc à celui d'une pression ordinaire, et comme nous l'avons remarqué (138), ce dernier est insensible dans le temps extrêmement court qu'emploie le projectile à parcourir l'âme, ou la masse m de la pièce, à mettre l'affût en mouvement.

Afin de n'avoir à considérer ni le temps, ni les dépressions, on devra évaluer les percussions au moyen d'une unité de même nature, c'est-à-dire qu'on prendra pour unité, l'effet de l'unité de poids tombant de l'unité de hauteur; de sorte que chaque valeur numérique exprimera un certain multiple de cet effet, ou en kilogrammes, le poids qui, tombant de 1^m, produirait sur la partie correspondante de l'affût, un choc égal à celui du tir.

S'agit-il, par exemple, de calculer la percussion qu'éprouvent les crosses? On dira: puisque N égale la quantité de mouvement mnV consommée sur le sol, n représentant le facteur $\frac{(b + fh)\sin(\theta \pm \psi) + c}{a + b}$, la vitesse perdue par la masse m , dans le choc des crosses, est nV , et la quantité d'action employée à produire ce choc vaut $\frac{mn^2V^2}{2}$. Mais une quantité d'action est un nombre de kilogrammes-mètres, c'est-à-dire un poids élevé à 1^m ou tombé de la même hauteur. Donc $\left(\frac{mn^2V^2}{2}\right)^{1/2}$ donne le poids qui, tombant de 1^m sur le dessous des crosses, y produirait le même effet que la réaction du sol contre la percussion de mV .

145. Nous démontrerons enfin, comme nous l'avons annoncé (142), que les percussions normales éprouvées par les crosses et les roues, sont toujours très-faibles, et par conséquent, incapables de détériorer l'affût.

Soient n , n' les facteurs de mV dans les valeurs de N , R respectivement. Nous aurons $n + n' = \sin(\theta \pm \psi)$, puisque $N + R = mV \sin(\theta \pm \psi)$. Or θ ne dépasse jamais 10 à 12° pour

les canons et les obusiers, et ces pièces ne peuvent être tirées sur des pentes très-rapides, sans de graves inconvénients. Donc $\sin(\theta \pm \psi)$ est toujours bien moindre que 1, et les facteurs n, n' sont de petites fractions. Comme d'ailleurs la vitesse V , imprimée à la masse m de la pièce, est très-faible, même quand le poids de la charge est le tiers de celui du boulet, on voit que les percussions $\left(\frac{nm^2V^2}{2}\right)^k, \left(\frac{mn'^2V^2}{2}\right)^k$ ou N, R ne peuvent qu'être très-faibles aussi.

ROUES SOULEVÉES.

146. Le cas où les roues se trouvent soulevées, se présente quand l'inclinaison du sol et l'angle de tir sont tels qu'on a (143) l'inégalité $\sin(\theta \pm \psi) < \frac{c}{a - fh}$. Tous les points du système ont alors deux vitesses : l'une de translation, parallèle au sol, l'autre de rotation autour de la ligne selon laquelle s'appuient les crosses. Il peut même arriver, et cela dépend de l'angle θ , qu'au lieu de rester soutenue par la vis de pointage, la pièce tourne sur l'axe des tourillons, de manière à soulever sa culasse. Ces mouvemens circulaires compliquent la détermination des percussions, on le conçoit aisément; toutefois, la marche à suivre n'en est pas moins absolument la même que celle qui nous a conduits aux équations de l'article précédent; mais comme nous ne pourrions présenter les calculs autrement que *M. Poisson*, nous renvoyons au mémoire qu'il a publié sur les effets du tir et d'où sont tirées les formules qui vont être données pour le cas général dont il s'agit. Ces formules ont cependant été modifiées dans leur disposition, notre but étant de faire sentir l'influence des vitesses de rotation sur les valeurs des percussions. Nous avons même, pour mieux atteindre ce but, disposé les vitesses consommées en un tableau, dans lequel se trouvent reproduites celles du cas exceptionnel où les roues ne sont point soulevées. A l'aide de ces vitesses, on calculera aisément l'intensité des chocs (144).

Du reste, les hypothèses faites pour rendre plus facile la solution du nouveau problème, sont les mêmes que celles du précédent; mais, afin de moins compliquer les formules, on a supposé un terrain horizontal. L'angle de tir θ égale donc celui

qui est formé par l'axe de la pièce, sur le sol, et les droites normales ou parallèles au plan d'appui deviennent des verticales ou des horizontales.

Voici maintenant l'ensemble des notations employées (fig. 34):
 m, m', M masses respectives de la pièce, des roues et de tout le système;

a (4.9) distance de la ligne d'appui des crosses à la verticale du centre de gravité 1 de M ;

b (5.9) *idem* pour les roues;

a' (4.12) distance de la ligne d'appui des crosses à la verticale du centre de gravité 2 de m ;

b' (5.12) *idem* pour les roues;

c (1.8) distance du centre de gravité de M à l'axe 6.7 de l'âme;

h (1.9) élévation du même point au-dessus du sol 5.4;

h' (2.12) élévation du centre de gravité de m ;

l (3.15) distance de l'axe 3 des tourillons à celui de la vis de pointage;

p (3.10) distance de l'axe des tourillons à celui de l'âme;

q (2.10) distance du centre de gravité de m au plan mené par l'axe des tourillons perpendiculairement à celui de l'âme;

p' (2.11) distance du même point au plan horizontal de l'axe des tourillons;

q' (3.11) distance du même centre au plan vertical de l'axe des tourillons;

θ angle de tir, qui est positif ou négatif, selon que la pièce est pointée au-dessus ou au-dessous de l'horizon;

θ' angle formé par l'axe de la vis de pointage avec la normale au sol;

f coefficient du frottement de première espèce;

$mk^2, m'k'^2, MK^2$ moments d'inertie dont chacun a pour axe une parallèle à la ligne d'appui des crosses, menée par le centre de gravité de la masse correspondante;

V vitesse de la bouche à feu selon son axe, avant les chocs;

V_0 vitesse initiale du recul pour tout le système;

ω vitesse angulaire du système autour de la ligne d'appui des crosses;

" vitesse angulaire de la pièce autour de l'axe des tourillons;

$V_a, V_r, V_s, V_t, \frac{U}{m}$ vitesses consommées respectivement sur les crosses, sur les roues, sur les encastremens verticalement, sur les encastremens horizontalement, et sur la vis de pointage, selon l'axe.

Enfin, pour abréger nous poserons

$$D = \left\{ \begin{aligned} & \left[K^2 - \frac{m'}{M} k'^2 + a(a-fh) \right] \left[k^2 + \left(1 - \frac{m}{M} \right) p'^2 + \left(q' + \frac{m}{M} f p' \right) q' \right] \\ & - [k^2 - (a' - fh) q' + (h' - h) p'] [k^2 - a' q' + (h' - h - fa) p'] \frac{m}{M} \end{aligned} \right\},$$

et nous numérotions les quantités suivantes :

$$K^2 - \frac{m'}{M} k'^2 + a(a-fh) \quad (1), \quad k^2 + \left(1 - \frac{m}{M} \right) p'^2 + \left(q' + \frac{m}{M} f p' \right) q' \quad (2),$$

$$k^2 - (a' - fh) q' + (h' - h) p' \quad (3), \quad k^2 - a' q' + (h' - h - fa) p' \quad (4),$$

$$c - (a - fh) \sin \theta \quad (5), \quad p - \frac{m}{M} (\cos \theta - f \sin \theta) p' \quad (6).$$

Il sera facile, d'après tout cela, de comprendre le tableau des vitesses consommées sur les diverses parties de l'affût, dans les trois cas que peut présenter le tir. Nous y joindrons les valeurs des deux vitesses angulaires.

VITESSES.	ROUES ET CULASSE COMPRISES.	ROUES SOULEVÉES, CULASSE COMPRIMÉE.	ROUES ET CULASSE SOULEVÉES.
V_r	$\frac{(a-fh)\sin\theta - c}{a+b} V$		
V_n	$V \sin\theta - V_r \dots \dots$	$V \sin\theta + a \frac{M}{m} \varphi \dots \dots$	$V \sin\theta + a \frac{M}{m} \varphi + q'$
V_s	$\frac{m}{M} (\cos\theta - f \sin\theta) V \dots$	$\frac{m}{M} (\cos\theta - f \sin\theta) V - (h + fa) \varphi \dots$	$\frac{m}{M} (\cos\theta - f \sin\theta) V - (h + fa) \varphi + \frac{m}{M} (p' - f q') \varphi$
$U - \frac{m}{M}$	$\frac{1}{l} (p' V_r - p V) \dots \dots$	$\frac{1}{l} (p' V_r - p V) + \frac{1}{l} (h^2 - a' q' + h' p') \varphi$	
V_t	$V \cos\theta - V_r + \frac{U}{m} \sin\theta'$	$V \cos\theta - V_r + \frac{U}{m} \sin\theta' - h' \varphi \dots \dots$	$V \cos\theta - V_r - h' \varphi + p'$
V_s	$\frac{U}{m} \cos\theta' - V \sin\theta \dots$	$\frac{U}{m} \cos\theta' - V \sin\theta - a' \varphi \dots \dots$	$-(V \sin\theta + a' \varphi + q' \varphi)$
φ	$\dots \dots \dots$	$\frac{m}{M} \times \frac{(5)}{(1)} V \dots \dots \dots$	$\frac{m}{M} \frac{DM}{DM} [(5) \times (2) - (6) \times (3)] V$
$\cdot$	$\dots \dots \dots$	$\dots \dots \dots$	$\frac{1}{D} \left[\frac{m}{M} \times (5) \times (4) - (6) \times (1) \right] V.$

147. L'influence des deux rotations sur les percussions et la vitesse de recul, est aisée à saisir: V_n se trouve augmentée, dans le second cas, de V_r et de la vitesse verticale $a \frac{M}{m} \phi$ que prend le centre de gravité du système, en vertu de la quantité de mouvement $M\phi \sqrt{a^2 + h^2}$ imprimée par le soulèvement des roues; dans le troisième cas, la même vitesse V_n s'accroît en outre de $q'w$, vitesse verticale donnée au centre de gravité de la pièce, par la quantité de mouvement $m \sqrt{p'^2 + q'^2}$ qui lui est imprimée quand la culasse se soulève.

V_i au contraire diminue, dans le second cas, de la vitesse horizontale $h\phi$ qui provient de $M\phi \sqrt{a^2 + h^2}$, et de la vitesse $f a \phi$ consommée par l'augmentation que le frottement des crosses reçoit de la percussion due au soulèvement des roues; dans le troisième cas, V_i diminue encore de la vitesse $\frac{m}{M} f q'w$ consommée par l'augmentation que le même frottement reçoit de la percussion due au soulèvement de la culasse; mais d'un autre côté, V_i augmente de la vitesse horizontale $\frac{m}{M} p'w$ qui provient de $m \sqrt{p'^2 + q'^2}$. Les deux rotations ayant lieu dans des sens contraires, doivent en effet modifier inversement la vitesse initiale du recul.

La quantité de mouvement $m\phi \sqrt{a^2 + h^2}$ qu'imprime à la pièce le soulèvement des roues, change les percussions éprouvées par les encastremens. De la vitesse V_i consommée horizontalement, se retranche $h\phi$, composante horizontale de la vitesse $\phi \sqrt{a^2 + h^2}$ que prend le centre de gravité de m ; de la vitesse V_i consommée verticalement, se retranche la composante verticale $a\phi$.

Quant au soulèvement de la culasse, il ajoute à la première des vitesses consommées sur les encastremens, la composante horizontale $p'w$ de la vitesse circulaire, prise par le centre de gravité de m , et il retranche de la seconde, la composante verticale $q'w$.

Il est si facile au reste de se rendre raison de toutes les variations dont nous venons de parler, qu'on pourrait, par la

seule considération du parallélogramme des forces, déduire des formules du premier cas, celles du second et du troisième.

148. Les expressions des vitesses consommées ne permettent pas de voir si les mouvemens de rotation augmentent en réalité celles de ces vitesses qui renferment la variable V ; mais les applications montrent que de deux affûts de même masse et placés dans les mêmes circonstances de tir, celui qui prend la plus grande vitesse angulaire φ , éprouve de plus fortes percussions sur ses encastremens, comme sur ses crosses.

Il faut donc, pour atténuer les percussions les plus nuisibles, prendre les lignes du tracé de manière à rendre la vitesse φ très-petite. Mais la valeur de cette vitesse est trop peu simple, même dans le second cas où elle se trouve pourtant bien moins compliquée que dans le troisième, pour qu'il soit facile d'y reconnaître l'influence des distances a , c , h . Ainsi on devra, comme pour le premier cas (143), chercher seulement à rendre un minimum la

quantité $\frac{c}{a-fh}$; car moins les roues seront exposées à être soulevées, moins nécessairement la vitesse de rotation se trouvera grande, quand elles le seront sous un certain angle de tir.

Il s'ensuit qu'on affaiblit les percussions d'un affût, en rapprochant de l'axe de l'âme et du sol, le centre de gravité de la masse totale M , et en éloignant horizontalement le même centre de la ligne selon laquelle s'appuient les crosses.

Des calculs faits sur les différentes espèces d'affût en usage, ont montré que les lignes du tracé doivent être telles qu'il en résulte une indication de 7 à 8° pour l'angle de tir sous lequel commencent à quitter le sol, les roues des affûts de campagne. Lorsque la bouche à feu est très-légère relativement au projectile, comme l'obusier de siège de 8^{pon}, l'indication de 7° est une limite qu'on ne doit atteindre qu'en ayant soin d'augmenter la force de résistance des ferrures qui fixent l'essieu. Mais, si le rapport du poids de la pièce à celui du projectile est très-grand, comme dans l'artillerie de place et de côte, l'angle de tir sous lequel les roues cessent d'être comprimées contre le sol, pourrait s'élever jusqu'à 15°, sans qu'il en résultât trop de fatigue pour l'affût.

149. Prévenons toutefois que les modifications des lignes du tracé ne produisent pas un affaiblissement bien marqué dans les

percussions, quand la composition générale de l'affût reste à-peu-près la même. Si, par exemple, l'affût de huit, nouveau modèle, souffre un peu moins des effets du tir que l'ancien, c'est, comme le montrent les applications, parce qu'il est un peu plus léger, et non parce que les lignes du tracé y sont différentes. Si le nouvel affût de douze souffre sensiblement moins que celui de *Gribeauval*, la cause principale en est encore la différence des poids : le premier pèse seulement 1245^{kg}, tandis que le second pèse 1519^{kg}; aussi la vitesse initiale du recul surpasse-t-elle dans l'un, celle qui a lieu dans l'autre, comme cela doit être d'après la valeur de V , dont une partie a M pour dénominateur.

Mais les variations des lignes du tracé sont efficaces, lorsque les compositions générales des affûts diffèrent beaucoup. Ainsi, les longueurs de ces lignes, dans l'affût de siège, font que les roues cessent d'être soulevées, dès que l'angle de tir atteint 4 à 5°; tandis que l'affût de place et de côte ne se trouve dans la même circonstance qu'au moment où l'angle de tir est d'environ 15°; d'où suit évidemment que, pour le même angle, le premier affût souffre moins que le second.

150. Le plus efficace des moyens d'affaiblir les percussions qu'éprouve l'affût, c'est de donner à la pièce tout le poids que permet la mobilité dont le système a besoin. Il résulte effectivement de l'augmentation de m , une diminution dans V et par suite dans tous les chocs, dont l'expression générale (144) est $\left(\frac{mn^2V^2}{2}\right)^{\frac{1}{2}}$, n représentant une fraction.

Les percussions sont aussi d'autant moindres, que la charge de poudre est plus faible, toutes choses égales d'ailleurs, car de cette charge dépend la valeur de V .

Mais l'angle de tir a peu d'influence, attendu qu'il n'est jamais bien grand, et que la fraction n^2 contient seulement le carré du sinus ou du cosinus.

151. Lorsque les affûts dont l'angle de tir ne dépasse pas 10 à 12°, portent jusqu'à cet angle la limite du soulèvement des roues, comme l'affût de place et de côte, par exemple, leurs crosses éprouvent une forte percussion normale, car V_n prend alors une grande valeur. Ce qui a été démontré dans le n° 145,

n'est donc pas vrai pour de semblables cas. Cependant, on peut encore tenir peu de compte d'un tel choc, quant au corps d'affût, puisqu'il tend seulement à écraser les crosses, à les fendre; mais il faut y avoir égard, s'il s'agit de déterminer les dimensions de la poutrelle directrice d'un châssis, parce que cette pièce, qui soutient l'arrière de l'affût, étant supportée seulement par deux appuis, est exposée à se rompre.

152. La quantité d'action consommée sur les encastremens est très-grande pour les fortes charges et les projectiles lourds, comme les obus et les boîtes à balles, en raison de la valeur que V prend alors. Le choc qui en résulte, cause des fentes longitudinales, parfois des ruptures; il suffit souvent pour mettre l'affût hors de service, ce qui arrive surtout quand sa direction s'éloigne beaucoup de la parallèle au sol, c'est-à-dire quand sa composante verticale est grande par rapport à sa composante horizontale.

On doit donc s'attacher principalement à diminuer la percussion exercée par les tourillons. Le moyen est évidemment de rendre la vitesse de recul aussi grande que le permet la nature du service, en atténuant la masse totale du système. Ainsi, toutes les fois que la masse de la bouche à feu sera donnée, celle de l'affût devra être réduite au minimum déterminé par le recul et la solidité.

Cette condition exige de l'habileté dans le constructeur: il doit combiner les pièces en bois, en fer ou en fonte, de manière à obtenir un affût qui, sous la plus petite masse possible, soit capable d'une très-grande résistance.

153. L'inertie et le frottement des roues font que la tête d'affût choque le corps d'essieu. La composante horizontale de l'effort exercé est très-nuisible, en ce qu'elle se consomme à peu près dans le sens des fibres d'une partie qui a peu de longueur. Aussi n'est-il pas rare, dès qu'un affût a tiré un certain nombre de coups, d'y voir naître une fente presque horizontale à l'angle antérieur de l'encastrement de l'essieu. Cette fente s'étend ensuite de plus en plus vers le devant du flasque, et il arrive même parfois que bientôt la partie inférieure de la tête d'affût n'est plus liée au reste, si ce n'est par les ferrures. On devrait donc chercher à diminuer la vitesse de recul; mais d'autres considérations plus

importantes exigent le contraire (152), et tout ce qu'on peut faire est de réduire le poids des roues à la limite qu'impose la solidité dont elles ont besoin.

154. Il n'y a pas à s'occuper de la percussion sur la vis de pointage; calculée d'après la valeur que donnent les formules

pour $\frac{U}{m}$, elle est toujours très-faible, et quand par le fait elle

surpasse son intensité théorique, il est à croire que l'augmentation provient d'une circonstance particulière au mouvement du projectile dans l'âme, circonstance dont l'influence ne saurait être ni appréciée ni prévenue.

155. L'essieu choque les boîtes dans tous les cas du tir. Si les roues sont soulevées, la percussion des fusées tend à augmenter l'angle qu'elles forment avec le corps d'essieu. Ce sont les ferrures qui la supportent, c'est-à-dire les bandes d'essieu et les bouts filetés des chevilles par lesquelles se trouvent fixées ces bandes. Comme ces parties sont faibles, il importe que la quantité d'action qui s'y consomme, le soit aussi. Or elle le sera, si les lignes du tracé ont des longueurs propres à rendre très-petit l'angle de tir limite du soulèvement des roues (148).

Il semble d'abord qu'on soulagerait beaucoup l'essieu et ses ferrures, en diminuant la masse m' des roues; mais l'influence des variations possibles de cette masse sur les percussions où elle joue un rôle, est au fond fort peu grande. L'intensité du choc décroît effectivement avec la vitesse perdue par la masse $M - m'$; la perte diminue, quand le rapport de $M - m'$ à m' augmente ou quand m' devient moindre; mais le rapport est trop grand, pour que ce qui pourrait être ôté à m' , l'accrût d'une quantité capable d'affaiblir notablement les percussions.

La masse des roues du nouveau matériel est un minimum relativement à la solidité dont elles ont besoin, et pourtant les chocs qui en dépendent, sont sensiblement les mêmes que dans l'ancienne artillerie où m' avait une plus grande valeur. A la vérité, l'affût de douze, pris pour sujet de la comparaison, a été allégé en même temps que les roues, et l'augmentation qui en est résultée dans la vitesse de recul, détruit nécessairement une partie de l'effet dû à la diminution de m' .

156. Lorsque les roues sont comprimées contre le sol, le choc

vertical de l'essieu sur les boîtes tend à relever les fusées, et le choc horizontal tend à les faire plier en avant. Le premier serait affaibli, si l'on rapprochait horizontalement de la ligne d'appui des crosses, le centre de gravité du système; mais le tracé serait alors moins favorable à la conservation des flasques (148). Quant au second choc, il est réduit à son minimum, si la résistance des roues ou leur poids ne surpasse point ce qu'exige la solidité, car on ne peut songer à diminuer la vitesse de recul, en donnant une grande masse à l'affût (152).

157. Avant que M. Poisson eût traité la question des effets du tir, on jugeait de leur intensité d'après la grandeur de l'angle du recul, c'est-à-dire de l'angle formé sur le sol par une droite menée dans le plan de symétrie, de l'axe des tourillons à la ligne d'appui des crosses. C'était là un moyen simple et facile, car l'ouverture d'un tel angle peut être appréciée à l'inspection seule de l'affût; tandis qu'il est impossible de déterminer à vue, même approximativement, la position du centre de gravité du système; cette position, de laquelle dépendent les chocs (148), est même très-difficile à fixer par le calcul, dans un affût en projet.

Mais l'angle de recul ne procurait généralement qu'une estimation fautive, car on conçoit qu'il peut être le même pour deux affûts, sans que les centres de gravité soient semblablement placés par rapport à l'axe de l'âme et à la ligne d'appui des crosses. Le moyen n'était bon que pour le cas d'une composition générale donnée; il est présumable en effet qu'alors l'affût qui offre le plus petit angle de recul, est aussi celui pour lequel la quantité $\frac{c}{a-fh}$ a la moindre valeur, et par conséquent celui

qui souffre le moins du tir. Cependant, il faudrait une grande différence dans les angles de recul, pour qu'il y en eût une très-sensible dans les chocs supportés par deux affûts de même masse.

158. Nous terminerons la théorie des percussions, en résumant les principes à observer pour atténuer, autant qu'il est possible, les effets du tir sur les affûts.

1° Les percussions s'affaiblissent, quand augmente le rapport du poids de la bouche à feu à celui du projectile (150).

2° Les percussions diminuent d'intensité avec le poids de l'affût (152).

3° La diminution de l'angle de tir sous lequel les roues commencent à quitter le sol, est favorable à la conservation de l'affût. Cet angle est d'autant moins grand, que le centre de gravité du système est plus voisin de l'axe de l'âme, moins élevé et plus éloigné de la ligne d'appui des crosses (148).

4° L'influence du tracé sur les percussions n'est sensible que pour de grandes variations dans les distances mentionnées au troisième principe (149).

5° On ménage l'essieu et la tête d'affût, en rendant la masse des roues aussi faible que le permet la solidité (156 et 153).

CHAPITRE DEUXIÈME.

RECU.

159. Nous avons maintenant à nous occuper spécialement du recul, surtout pour déterminer les règles qu'il faut observer dans la composition des affûts, à l'effet de diminuer la longueur de l'espace que parcourt le système après l'explosion. La marche analytique à suivre serait d'établir une formule qui donnât cette longueur en fonction des dimensions de l'affût et des résistances opposées au mouvement rétrograde ; mais les calculs seraient compliqués, attendu qu'on devrait considérer les deux cas dans lesquels le système peut se trouver, c'est-à-dire celui où les roues ne quittent pas le sol, et celui où elles sont soulevées.

Dans le premier cas, tous les points du système sont, après l'explosion, animés d'une même vitesse horizontale, et les roues prennent autour de l'essieu, un mouvement de rotation qui les fait cheminer dans le sens du recul. Ces mouvements sont contrariés par les frottemens ; la force consommée par celui des roues dépend de la pression qu'elles exercent sur le sol, et de leur vitesse angulaire. Au départ, cette vitesse est évidemment telle que l'arc décrit par un point quelconque de la bande de roue, se trouve moindre que la longueur horizontale parcourue dans le même temps, par le corps de l'affût. Conséquemment, les roues glissent en arrière pour suivre l'essieu, et leur frottement

est de première espèce, quand le mouvement commence. Mais ce frottement, qui diminue la vitesse horizontale du système, augmente de plus en plus la vitesse angulaire. Bientôt donc la rotation des roues leur suffit pour suivre l'essieu, et dès ce moment leur frottement devient de seconde espèce. Toutefois cet état de chose n'a lieu que pendant un instant, car la vitesse du corps d'affût diminue continuellement, et la vitesse angulaire des roues ne peut diminuer aussi rapidement, à cause de leur indépendance et de la faiblesse du frottement de seconde espèce. Cette vitesse angulaire ne tarde donc pas à surpasser la vitesse de translation du système; de sorte que les roues devanceraient l'essieu, si elles étaient libres. Ne pouvant le dépasser, elles le poussent et augmentent le recul, ce qui ne peut avoir lieu sans que le frottement sur le sol redevienne de première espèce.

Il y a plus de complication encore, si les roues sont soulevées. Elles prennent alors un mouvement de rotation qui provient du choc de l'essieu contre les boîtes, et se fait évidemment en sens contraire du recul, pour le point le plus élevé des jantes. Quand l'affût a parcouru horizontalement une certaine longueur, les roues retombent sur le sol, leur rotation change brusquement de sens, et toutes les vitesses sont instantanément altérées. Il est même possible que tout le système soit soulevé après la chute de la partie antérieure, ou qu'il y ait seulement rotation du corps d'affût autour de l'essieu. Une nouvelle longueur horizontale sera parcourue, pendant que l'une de ces choses se passera; puis les crosses retomberont et seront peut-être soulevées encore une fois.

Si donc on voulait déterminer la longueur du recul, il faudrait calculer les différens espaces parcourus depuis chaque changement brusque jusqu'au suivant, et reconnaître combien de ces changemens peuvent survenir entre le commencement et la fin du mouvement de translation. M. *Poisson* a parfaitement discuté toutes ces circonstances du problème, dans le *Mémoire* déjà cité (146). Ceux qui voudront connaître les calculs à effectuer, pourront consulter ce modèle d'analyse. Pour nous, nous examinerons seulement quelles sont les conséquences applicables que fournit la théorie.

160. Le recul peut être restreint par deux moyens : la dimi-

nution de sa vitesse initiale V_1 et l'augmentation des résistances qui s'opposent au mouvement rétrograde.

On ne saurait songer dans la composition, à diminuer beaucoup la vitesse horizontale V_1 ; ce serait accroître la fatigue de l'affût, puisque la quantité de mouvement mV de la pièce doit être consommée, soit par la translation du système, soit par les percussions. L'accroissement de m , qui diminue V et augmente M , masse de tout le système, peut seul affaiblir V_1 sans inconvénient.

Voyons donc quelles sont les résistances efficaces, et comment il est possible de les accroître par la composition ou le tracé.

161. Le frottement des bandes sur le sol devient de seconde espèce, dès que les roues ont acquis la vitesse de l'essieu. Avant ce moment, il est de première espèce et s'oppose au recul; mais bientôt après il redevient de première espèce et contribue à la translation (159). On peut donc regarder le frottement des bandes sur un terrain dur et uni, comme exerçant en somme une faible influence.

Le frottement des fusées et des moyeux est toujours de première espèce; mais il ne forme une résistance un peu énergique que dans les cas où son bras de levier a une certaine longueur, et le coefficient f , une certaine valeur. Il est donc négligeable quand les essieux sont en fer, les boîtes en bronze, et que les roues s'appuient sur leurs jantes; tandis qu'il diminue sensiblement le recul, si l'on augmente le rayon moyen des fusées et qu'on mette en contact des substances d'un grand frottement, ou bien si l'on se borne à diminuer le bras de levier de la puissance, en faisant porter les roues sur leurs moyeux, comme aux nouveaux affûts de place et de côte montés sur leurs châssis.

Les crosses exercent une assez grande pression sur le sol, et par conséquent, leur frottement doit diminuer le recul. Pour qu'il le diminue davantage, il suffit d'augmenter la pression. C'est ce qu'on fera en diminuant la distance horizontale du centre de gravité du système à la ligne d'appui des crosses; mais comme ce moyen fait croître la vitesse angulaire ϕ et par suite les percussions (148), on doit mettre une certaine réserve dans son emploi.

Il n'y a pas d'autres résistances que les frottemens, lorsque

l'affût doit être placé sur un terrain non préparé ; nous pouvons donc poser en principe que pour diminuer le recul des pièces de campagne , il faut rapprocher la ligne d'appui des crosses et la verticale du centre de gravité de la masse totale.

162. Le même moyen peut servir pour l'artillerie de siège et pour celle de place et de côte, mais on en a un autre encore : l'emploi d'un plan incliné , disposé de manière que la quantité de mouvement MV_1 y élève la masse M . L'inclinaison du plan dépend de la composition et du tracé, quand il s'agit d'affûts à châssis ; elle n'en dépend plus , s'il s'agit d'affûts destinés aux batteries à plates-formes.

Ce serait hâter les dégradations , que d'incliner fortement un châssis on une plate-forme vers la bouche de la pièce ; car évidemment l'axe de l'âme formerait alors avec le plan d'appui , un angle égal à l'angle de tir θ augmenté de l'inclinaison ψ ; en d'autres termes , θ devrait être remplacé dans les formules par $\theta + \psi$, on bien encore les percussions seraient les mêmes que celles qui auraient lieu sur un plan horizontal, dans le cas d'un angle de tir égal à $\theta + \psi$.

Si l'on voulait qu'une grande inclinaison n'augmentât pas les percussions , il faudrait ne faire commencer le plan incliné qu'à la ligne d'appui des crosses. Alors, l'affût se trouverait tout entier sur un plan horizontal, au moment de l'explosion, pendant les chocs, et le recul se ferait néanmoins sur une rampe montante. A la vérité, le poids élevé ne serait pas d'abord celui de tout le système ; il se pourrait même que le recul fût terminé avant que les roues n'atteignissent le plan incliné ; enfin la pression des crosses sur ce plan et par suite leur frottement, devient d'autant moindre que l'inclinaison est plus grande. Toutefois, la dépense de force vive, qu'exigerait l'ascension d'une partie du système, suffirait bien pour produire une notable diminution dans le recul.

163. L'artillerie de marine restreint de beaucoup la course rétrograde de ses bouches à feu , en opposant au mouvement la tension d'un cordage appelé *drague* et attaché d'un bout à l'affût, de l'autre à un point fixe. Cette tension consomme peu à peu la plus grande partie de la force vive du système.

On se sert aussi d'un cordage, pour raccourcir le recul des

pièces de montagne. Il est disposé de manière qu'il se tend par degré et finit par enrayer l'une des roues.

Mais de semblables moyens doivent être employés de façon à ne produire aucun changement brusque de vitesse, car autrement il pourrait en résulter des ruptures dans les affûts.

164. Ce chapitre serait incomplet, si nous le terminions sans parler de l'influence qu'exerce la nature du sol sur le recul.

Lorsque le terrain, au lieu d'être dur et uni, comme il a été supposé jusqu'ici, se trouve au contraire compressible ou raboteux, ce qui est le cas le plus ordinaire en campagne, le recul a beaucoup moins d'étendue; car évidemment les résistances qui s'opposent au mouvement des crosses et des roues, croissent avec la compressibilité, et les pierres ou autres aspérités mettent bientôt fin à ce mouvement, quand elles ne le détruisent pas tout-à coup. Mais aussi l'affût souffre bien davantage.

Les détériorations qu'occasionne un sol compressible, ne proviennent pourtant pas des percussions verticales exercées sur les roues et les crosses. Ces percussions sont même moins nuisibles qu'en terrain dur; la force vive qui les produit, n'est plus brusquement consommée; elle s'épuise graduellement contre les résistances successives des couches de terre dans lesquelles pénètrent alors les appuis de l'affût. Ce qui cause des dégradations en pareil cas, ce sont les ornières que creusent les crosses et surtout les roues. La force vive qu'elles consomment est d'autant plus grande que le sol a plus de ténacité, et comme la consommation se fait parallèlement au plan d'appui, il en résulte, soit en arrière des encastremens, soit à la tête d'affût, des fentes plus prononcées que celles qui se font dans les mêmes parties, sur un terrain résistant. L'essieu peut même prendre une plus forte courbure dans le sens horizontal.

Quant aux aspérités, il est bien clair qu'en arrêtant subitement le système, ou en diminuant brusquement la vitesse, soit des roues, soit des crosses, elles peuvent, plus encore que les ornières, faire éclater les flasques dans le sens de la longueur et courber l'essieu.

TROISIÈME PARTIE.

COMPOSITION ET TRACÉS.

165. On entend par *composition* dans l'artillerie, le choix et l'arrangement des diverses pièces d'un objet du matériel. Nous n'avons à étudier que celle des affûts et des voitures; elle doit être telle que ces machines conviennent parfaitement, à leur service.

Le *tracé* est la détermination des formes; il s'applique à l'ensemble des parties ou à chacune prise isolément. De là, pour toute espèce de voiture ou d'affût, un *tracé d'ensemble* et plusieurs *tracés de détail*. Le premier n'a pour objet que le choix des distances par lesquelles sont réglées les percussions et les forces de traction, distances dont quelques-unes ont déjà été nommées *lignes du tracé* (141). On ne saurait le séparer de la composition, qui peut influer sur ces lignes, comme ces lignes peuvent influer sur elle. Nous traiterons donc à la fois de la composition et du tracé d'ensemble, réservant les tracés de détail pour un autre chapitre.

Mais, comme les roues et les essieux sont des parties principales, communes à toutes les voitures, et que leurs éléments, leurs formes sont à-peu-près toujours les mêmes, il convient de commencer par la composition et les tracés de ces parties; ce sera d'ailleurs imiter ce qui a été fait pour la théorie.

CHAPITRE PREMIER.

COMPOSITION ET TRACÉS DES ROUES ET DES ESSIEUX.

C'est l'importance des roues et des essieux qui nous engage à exposer leur composition particulière, car il n'entre pas dans

nos vues de donner celle des autres parties de chaque espèce de voiture ou d'affût. Quant aux tracés des mêmes objets, ce sont, il est vrai, des tracés de détail; mais, pour les rendre plus courts et plus clairs, nous devons les rattacher à la composition.

SECTION PREMIÈRE.

COMPOSITION ET TRACÉS DES ROUES.

166. Une roue est composée d'un *moyeu*, de *rais* et de *jantes*. Le moyeu est percé d'un trou qui reçoit l'une des fusées de l'essieu; les rais sont tous implantés dans le moyeu et assemblés deux à deux avec une jante; les jantes forment, par leur ensemble, un anneau plat et circulaire dont l'axe est le même que celui du moyeu; la surface extérieure de cet anneau est recouverte, soit d'un cercle de fer, soit de bandes de même métal, qui consolident le système de toutes les parties de la roue et préviennent les dégradations qu'éprouveraient promptement les jantes, si elles frottaient sur le sol.

Il est facile de concevoir que cette composition permet à des roues d'une faible masse, de porter de très-fortes charges; car on voit bien que tous les rais de la demi-circonférence inférieure soutiennent le moyeu en s'appuyant sur l'anneau des jantes, et qu'un d'eux peut fléchir, sans que cet accident occasionne la chute de la voiture.

ÉCUANTEUR.

167. Si l'on avait à parcourir seulement des terrains unis et horizontaux, il serait avantageux de placer les rais normalement au moyeu et de rendre horizontal l'axe de cette pièce: la pression de la charge s'exercerait alors selon la longueur des rais et tendrait à maintenir la solidité de leurs assemblages avec le moyeu et les jantes correspondantes. Mais les voitures d'artillerie roulent très-souvent sur un sol incliné dans le sens des essieux, sur un sol raboteux, rempli de trous, sillonné d'ornières; dans le premier cas, le rais normal au sol ne s'opposerait pas directement à la pression; dans le second, les

cahots produisent sur la jante inférieure, des chocs qui sont dirigés tantôt vers l'axe de la voiture, tantôt à l'inverse, et de là des ébranlemens continnels, par lesquels se trouveraient bientôt détruits les assemblages des rais, des jantes et des moyeux, si les roues étaient construites comme elles pourraient l'être pour un terrain horizontal.

Afin donc de rendre les roues plus capables de résistance en terrain incliné, et de retarder les dégradations que leur causent les mauvais chemins, on donne aux rais une certaine inclinaison par rapport à l'axe du moyeu. Cette inclinaison, qui éloigne les jantes du plan de symétrie de la voiture, se nomme *pente*; elle est déterminée par l'*écuaneur*, distance d'une règle appliquée sur la face plane extérieure des jantes, au devant de la mortaise pratiquée dans le moyeu pour recevoir la patte du rais.

Ainsi le rais le plus bas est oblique par rapport à un sol horizontal; l'anneau des jantes se trouve arc-bouté sur le moyeu, et les effets des chocs sont de beaucoup affaiblis. Qu'un de ces chocs tende à rejeter la jante inférieure vers l'axe de la voiture, il faudrait que les rais de cette jante se rapprochassent du plan normal au sol, et par conséquent, que le diamètre de la roue augmentât, pour qu'il y eût mouvement. Or la pression de la charge et surtout la rigidité de l'anneau formé par les jantes s'opposent à ces effets. Le choc de sens contraire au précédent agit bien à-peu-près comme si le rais le plus bas n'était pas oblique; mais les assemblages ayant à supporter seulement des percussions de même direction, résistent beaucoup plus longtemps qu'ils ne feraient s'ils étaient soumis alternativement à des chocs opposés.

Sur les mauvais chemins où les roues tombent tour à tour dans des trous, l'écuaneur est plus avantageux encore que sur les plans inclinés perpendiculairement à la direction: les axes des essieux prennent des positions analogues dans les deux circonstances, et le rais le plus bas devenant à-peu-près vertical, se trouve très-favorablement placé pour résister soit à la pression de la charge, soit au choc contre le fond du trou. Or, ce sont surtout les mauvais effets d'un tel choc qu'il importe d'atténuer.

168. Mais c'est ici un de ces cas où l'on n'évite un inconvénient qu'en tombant dans un autre: l'écuaneur devient nuisible

aux roues, quand la voiture roule sur une belle route dont le profil est une horizontale; il n'en est encore davantage, si la route est bombée et que la voiture suive le milieu. Le mal qui en résulte n'est certainement pas aussi grand que celui qui aurait lieu sans l'écuaneur, dans un chemin raboteux; mais il ne laisse pas d'être à considérer.

Représentons par α l'angle que fait le rais inférieur AB avec la verticale (fig. 35), par P la charge totale qui agit au milieu de l'essieu AA', par P', P'' les pressions suivant les directions AB, A'B' des axes des rais. Ces directions et celle de la force P concourent en un point C; les angles BCP, B'CP sont égaux entre eux et à l'angle α ; les forces P', P'', composantes de la pression totale P, se trouvent de même intensité, et chacune a pour valeur

$$\frac{P \sin \alpha}{\sin 2\alpha} = \frac{P}{2 \cos \alpha}.$$

Tel est donc l'effort qui tend à faire éclater le rais; mais, oblique par rapport au sol, il tend aussi à faire glisser la jante, en vertu de sa composante horizontale $\frac{P}{2 \cos \alpha} \sin \alpha = \frac{P}{2} \tan \alpha$.

D'ailleurs, la réaction du sol contre la composante verticale $\frac{P}{2}$, agit pour rompre le rais près du moyen ou pour détruire l'assemblage, avec un bras de levier $AB \sin \alpha$.

Les rais sont donc d'autant plus exposés à éclater et à se rompre vers les pattes, que α ou l'écuaneur est plus grand; et ce n'est pas seulement sous l'effort de la charge P qu'il en est ainsi: la même conséquence doit être étendue au cas de l'explosion d'une bouche à feu placée sur un sol horizontal, puis qu'alors les roues éprouvent une percussion verticale, soit parce qu'elles sont comprimées contre le sol, soit parce qu'étant soulevées, elles retombent ensuite.

169. Puisque l'écuaneur est avantageux dans les terrains accidentés ou raboteux, et nuisible sur les belles routes, la pente des rais doit être réglée d'après la nature des chemins que les voitures ont à parcourir. C'est là aussi ce qui se pratique; l'expérience a conduit de bonne heure aux principes que nous

venons de déduire de la théorie : les rais ont peu de pente dans les pays de plaine, et au contraire, ils en ont beaucoup dans les pays de montagne; l'inclinaison varie entre 6 et 14°. Mais l'artillerie donne toujours 7 à 8°, parce que ses voitures sont destinées à rouler sur toute sorte de chemins.

RAIS.

170. Le rais a trois parties : le *corps*, la *patte*, la *broche*; la patte pénètre dans le moyeu, et la broche, dans une jante.

On sentira facilement, d'après ce qui précède, la justesse des principes suivans : un rais doit avoir plus de force à la patte qu'à la broche, plus d'épaisseur sur le derrière que sur le devant, et celle des deux dimensions de sa section droite qui se trouve dans un même plan avec l'axe du moyeu, doit surpasser l'autre, ce qu'on exprime en disant que les rais doivent être plus larges qu'épais. Il faut aussi qu'ils soient de droit fil ou que le bois dont on les fait ne soit pas contre-taillé. Ces principes ont été suivis dans le tracé des rais de la nouvelle artillerie, et voici la forme qui en est résultée.

171. La section droite du corps se compose d'une demi-circonférence, dont la convexité est tournée vers la voiture, et d'une portion d'ellipse ou d'ovale assez alongée, dont on retranche la pointe par une droite parallèle au diamètre de la demi-circonférence. Ce diamètre est l'épaisseur du rais (fig. 36).

Des deux lignes selon lesquelles le rais serait coupé par le plan qui contient son axe et celui du moyeu, l'une, celle de derrière, est droite et parallèle au fil du bois ou à l'axe du rais; l'autre est une droite qui s'écarte plus de l'axe vers la patte que vers la broche.

Comme le plan de l'épaulement de la broche est parallèle à l'axe du moyeu, le devant du rais fait avec ce plan un angle dièdre assez aigu, dont une portion serait enlevée par les chocs, si elle n'était pas supprimée d'avance. Le pan coupé qu'on pratique pour opérer la suppression, est perpendiculaire au plan de l'épaulement et raccordé avec le devant du rais.

Par là se trouve augmentée la différence des largeurs vers la patte et vers la broche; le fil du bois se trouve même interrompu. Mais l'effet du pan coupé est si faible que la largeur vers la

broche est encore suffisante, et qu'on peut bien regarder le bois comme n'étant pas contre-taillé. On ne le pouvait pas dans le tracé de *Gribeauval* : le pan coupé diminuait de beaucoup la largeur du rais vers la jante (fig. 37). Le but d'alors était de donner au rais une courbure assez grande, pour qu'il fit par derrière, avec le sol, un angle tellement ouvert, qu'il n'y eût pas de frottement contre les faces des ornières ordinaires. On empêche aujourd'hui ce frottement en combinant, d'une manière convenable, la pente des rais et le tracé des jantes.

MOYEU.

172. Le moyeu se compose généralement de deux pièces : l'une est en bois et constitue le moyeu proprement dit (fig. 36); l'autre est un manchon métallique, se nomme *boîte de roue*, et se loge dans le vide de la première qu'elle empêche de s'user.

La forme conique étant celle des fusées de l'essieu, doit être donnée aux boîtes de roues, et par conséquent, à la surface intérieure du moyeu. Il est donc naturel d'imposer la même forme à la surface extérieure. Mais cette forme ne permettant pas toute la solidité nécessaire aux assemblages des rais, n'est employée que pour les deux bouts du moyeu; on façonne en ellipsoïde la partie destinée aux mortaises de ces assemblages, laquelle se raccorde avec les deux parties coniques et se nomme *bouge*.

Les diamètres du bouge, ceux du gros et du petit bout, dépendent des diamètres du vide, puis de l'épaisseur de bois que nécessitent l'assemblage des rais et l'établissement de la boîte.

Plus un moyeu est long, plus aussi la roue et l'essieu sont pesants, moins il y a de passages accessibles à la voiture. Les moyeux doivent donc être courts. Mais d'un autre côté, il leur faut résister aux efforts qui tendent à faire sauter le bois compris entre les extrémités et les mortaises; il les faut assez longs pour donner aux roues de la stabilité, malgré la tendance qu'elles ont à osciller parallèlement à l'essieu, autour de leur point d'appui sur le sol, tendance qui résulte du jeu des fusées dans les boîtes, et que l'usure augmente sans cesse.

Nous ferons observer toutefois, que pendant long-temps; on s'est singulièrement exagéré la nécessité de donner une grande longueur au moyeu, pour rendre presque nul l'angle des os-

cillations ; les anciennes voitures, celles du commerce surtout, avaient des fusées tellement saillantes, qu'elles accrochaient fréquemment. On est aujourd'hui revenu à des idées plus justes, et dans le nouveau matériel, comme dans les voitures du roulage, les moyeux sont beaucoup moins longs qu'autrefois.

173. Le bouge est percé d'autant de mortaises qu'il doit recevoir de rais, ou d'autant que l'exprime le nombre des jantes multiplié par deux ; car à chaque jante répondent deux rais. Les mortaises sont poussées jusqu'au trou conique du moyeu ; mais le diamètre du bouge est déterminé de manière que les pattes des rais ne puissent jamais atteindre la boîte, même après qu'en châtant la roue, on a fait avancer les extrémités de ces pattes vers l'axe. Il est facile de sentir en effet que sans une telle précaution, la boîte serait ébranlée par les chocs des jantes contre le sol, et que les réactions parviendraient à faire sortir les pattes de leurs mortaises.

Des cordons en fer qui entourent le bouge de chaque côté des mortaises, et des frettes qui entourent le gros et le petit bout, consolident le moyeu, préviennent les effets destructeurs du dessèchement et empêchent la partie supérieure du bouge de se détacher, lorsqu'on enfonce les pattes des rais dans les mortaises.

BOÎTES DE ROUE.

174. Il est fort important pour la facilité du roulage, que le vide du moyeu dans lequel pénètre la fusée de l'essieu, soit un minimum ; car en réalité le rayon moyen de ce vide sert de bras de levier au frottement qui doit être vaincu par la puissance motrice (44). Si, dans la théorie des roues et dans celle des voitures, nous avons pris, pour bras de levier du même frottement, le rayon moyen de la fusée, c'est qu'au fond il diffère très-peu de l'autre, quand la machine est bien exécutée. Afin qu'il en soit toujours ainsi, on doit empêcher le trou du moyeu de s'agrandir, et l'on y parvient en revêtant les parois d'une substance métallique.

Les moyeux destinés à recevoir des essieux de fer, ont leur vide garni d'une boîte en bronze, dans toute sa longueur. Ces deux matières métalliques s'usent peu et ne produisent qu'une

faible résistance, en frottant l'une contre l'autre, lorsqu'on a soin d'interposer de la graisse de temps en temps.

La boîte de roue est conique intérieurement, comme la fusée qu'elle doit contenir (fig. 36). Un renforcement ménagé vers le milieu de la longueur, conserve la graisse, qui sans cela serait promptement expulsée. La surface extérieure est aussi conique, pour que l'épaisseur soit constante et que l'introduction dans le moyeu présente plus de facilité. A la grande base du tronc de cône se trouvent deux oreilles; elles forment embase et s'assujettissent au moyen de deux forts crampons.

175. Les moyeux qui tournent sur des essieux en bois, sont garnis à chaque extrémité de leur vide, d'une boîte en fer forgé. On lui donne peu de longueur; elle porte deux oreilles, et deux crampons la fixent. Cette autre composition du moyeu n'est pas favorable à la puissance motrice, mais elle suffit pour conserver les dimensions premières de la surface interne; on y trouve d'ailleurs un moyen de diminuer le recul (161).

JANTES.

176. Le nombre des jantes est déterminé de façon que l'arc formé par chacune ne force pas à contre-tailler le bois outre mesure, et qu'un rais ne supporte pas une pression supérieure à sa résistance.

Toute jante est percée d'une mortaise cylindrique, au centre de chacune des sections droites qui la termine. Ce trou reçoit le prisme octogonal nommé *goujon*, par lequel sont unies deux jantes consécutives. On donne aux mortaises une profondeur un peu plus grande que la moitié du goujon, afin de ne pas le rogner, quand il faut châtrer la roue.

177. La surface convexe des jantes ne peut être cylindrique, car il importe qu'elles s'appuient sur le sol dans toute la largeur des bandes, et la chose serait impossible, la roue ne porterait même que par un seul point A (fig. 36), si une droite AB parallèle à l'axe du moyeu était génératrice du pourtour. Nous verrons en effet que l'axe de chaque fusée, et conséquemment celui de chaque moyeu, vont, prolongés, rencontrer le sol hors de la voie.

On remplirait complètement la condition d'appui, en formant une surface conique, dont la génératrice AC fit avec l'axe du moyeu le même angle que le sol ; mais pour rendre le tracé plus facile, on se contente de donner un peu plus de 90° à l'angle de AC et de la face extérieure AD, formée par un plan perpendiculaire sur l'axe du moyeu.

Ainsi, pendant la rotation de la roue, chaque point de la génératrice AC est animé d'une vitesse d'autant plus grande qu'il est plus éloigné de l'axe de la surface conique, et l'extrémité C dont la vitesse circulaire égale celle de la translation du système, est le seul qui avance sans glisser sur le sol. Le frottement des bandes n'est donc pas rigoureusement de seconde espèce ; mais il peut être regardé comme tel, attendu que l'angle formé par la génératrice AC avec l'axe de la surface conique, est toujours au plus de 2 à 3° , et que les bandes ont peu de largeur.

Quant à la surface concave des jantes, elle est cylindrique : sa génératrice DE fait un angle droit avec la face antérieure AD. Enfin, la face interne EC est plane et d'équerre sur la surface conique.

Par conséquent, la jante est plus large au dedans de la roue qu'en dehors. Cela doit être aussi, puisque la broche a besoin de plus d'épaisseur près de l'épaulement qu'à son autre extrémité. Du reste, la largeur de la surface cylindrique des jantes est telle aujourd'hui, qu'elles débordent les rais du côté de la voiture, tout autant qu'il faut pour qu'on puisse faire ces rais rectilignes, sans les exposer à frotter contre les parois des ornières, plus que ne le faisaient les rais courbes de l'ancienne artillerie.

178. Les jantes de chêne sont consolidées par des rivets placés perpendiculairement à la surface cylindrique ; il y en a un près de chaque extrémité, pour retenir le prisme de bois qui tend à se détacher par suite de la section des fibres. Les jantes d'orme n'ont pas besoin de rivets, parce que les fibres de ce bois étant très-courtes, se trouvent moins contre-taillées que celles du chêne, et que d'ailleurs elles sont plus adhérentes entre elles. Mais, quelle que soit l'essence des jantes, un clou rivé traverse chacune, si elles doivent être ferrées de bandes. On le place parallèlement à la surface conique et un peu plus près d'elle

que de la surface cylindrique. Il empêche le bois d'éclater, pendant l'implantation des clous qui fixent les bandes.

BANDES ET CERCLES.

179. C'est seulement dans l'artillerie de siège qu'on emploie des bandes de fer pour donner de la solidité au système des jantes; dans l'artillerie de campagne, on l'entoure d'un cercle de même métal.

Il y a autant de bandes que de jantes, mais le milieu de chacune répond à un goujon. Les extrémités sont fixées par des clous et un boulon. Ce boulon n'existait pas dans le matériel de *Gribeauval*, et cependant il est indispensable, pour empêcher les cahots de faire sauter les clous, quand, par l'effet d'une grande sécheresse, la bande ne se trouve plus en contact avec la jante.

180. Le cercle des roues de l'équipage de campagne est aussi une excellente innovation: donnant au système beaucoup plus de solidité, en formant une seule jante, pour ainsi dire, de toutes celles qui composent la roue, il permet de diminuer la longueur des pattes de rais, celle des broches, la grosseur du moyeu et la hauteur des jantes; il laisse aussi plus de force au bois de ces dernières parties, car un seul boulon par jante suffit pour le fixer; en un mot, l'emploi des cercles rend les roues à la fois plus solides et plus légères. Il annule d'ailleurs les dépressions qui se forment à la jonction des jantes, dans les roues à bandes; par conséquent, il conserve la forme ronde des roues, et procure un tirage plus facile. On conçoit effectivement que le moteur est obligé d'élever la charge, chaque fois qu'une roue qui n'est pas exactement circulaire, vient s'appuyer sur le sol par un point plus éloigné du centre que le contact précédent.

A la vérité, une roue à cercle est moins facile à châtrer qu'une roue à bandes; aussi est-il indispensable de rendre cette opération plus rarement nécessaire, en confectionnant la première espèce avec du bois parfaitement sec.

HAUTEUR DES ROUES.

181. La hauteur des roues égale leur diamètre. Elle ne doit pas être déterminée par ce principe que la résistance due au

frottement des boîtes sur les fusées, varie en raison inverse du rayon des roues, car cette résistance peut être négligée, à cause de la faible intensité que lui donne la nature des substances en contact (46). La hauteur des roues doit donc se régler, uniquement, sur les résistances que présente le sol le plus ordinairement parcoureu par la voiture; c'est ce que montre (47) l'équation

$$Q = \frac{r'p + A(P + p)}{R \cos \varphi + A \sin \varphi}.$$

Pour obtenir la hauteur de roue la plus avantageuse dans un terrain dont le coefficient de résistance A est connu, il faut remplacer le poids p de la roue, par sa valeur en fonction du rayon R , et chercher ensuite quelle valeur de ce rayon correspond au minimum de la puissance Q . Doublant le résultat, on a la hauteur la plus grande qui puisse être donnée à la roue, relativement à la nature du terrain considéré. Malheureusement, il n'y a encore, ainsi que nous l'avons déjà dit (82), aucune expérience qui mette à même d'apprécier le coefficient A de la résistance du sol, et l'on est forcé de s'en rapporter à la règle empirique qui assigne 1^m,46 et 1^m,62 pour limites de la hauteur des grandes roues, dans les voitures destinées à rouler avec quelque célérité. Il est admis qu'une hauteur qui excéderait 1^m,62, augmenterait assez le poids et le prix de la roue, surtout si les jantes recevaient une largeur proportionnée, pour que le faible avantage résultant de l'accroissement du rayon, fût plus que compensé.

On ne va pas même, dans le nouveau matériel, jusqu'à la limite supérieure. Il a été reconnu préférable de se restreindre, pour les roues de derrière de toutes les voitures d'un même équipage, à la hauteur qu'impose l'obligation de ne pas trop élever l'axe d'une bonche à fen de siège ou de campagne, et de ne point donner aux roues une inertie capable de compromettre l'essieu au moment du recul.

De là et du nouveau tracé de l'arrière-train, résultent diminution dans le nombre des modèles de roues, diminution dans l'embarras causé par les rechanges, et plus de facilité pour les approvisionnements des arsenaux. Il n'y a d'ailleurs aucun inconvénient à donner les mêmes roues aux affûts et aux autres voitures du

même équipage, car ces affûts et ces voitures ont à-peu-près le même poids.

Les hauteurs des roues d'affûts réglées d'après les deux conditions qui viennent d'être indiquées, sont dans les limites données par l'expérience; mais elles se trouvent inférieures à celles que *Gribeauval* avait adoptées pour l'arrière-train des voitures. Toutefois, si la diminution augmente un peu l'effort nécessaire au tirage, l'accroissement qu'a reçu le rayon des roues d'avant-train, affaiblit cet effort bien davantage.

SECTION DEUXIÈME.

COMPOSITION ET TRACÉS DES ESSIEUX.

182. Il y a deux sortes de composition pour les essieux : les uns ne présentent qu'une pièce unique en fer, les autres sont formés d'une pièce principale en bois et de quelques ferrures. La plus importante de ces ferrures se nomme *équignon*; elle est encastrée dans le dessous de l'essieu, règne sur toute la longueur, augmente la résistance du bois et ralentit l'usure des fusées.

On n'emploie plus dans le nouveau matériel, qu'un seul essieu en bois : celui de l'affût de montagne. Le système de cet affût et de sa bouche à feu doit être très-léger et avoir pourtant un recul très-limité (161). Tous les autres essieux sont en fer forgé et par suite très-forts; on peut donc sans inconvénient donner un petit rayon aux fusées. De là résulte que le frottement de la boîte s'exerce très-près de l'axe de l'essieu et agit avec un bras de levier très-petit, comparativement au rayon de la roue. Il s'ensuit aussi un moindre diamètre pour les moyeux, plus de facilité à trouver le bois capable de les fournir, plus de légèreté dans les roues et diminution des inconvénients de leur inertie au moment du recul.

183. La section droite du corps des essieux en fer est un rectangle : cette forme convient mieux que toute autre à l'assemblage de l'essieu avec les parties en bois de la voiture; elle rend la fabrication plus facile, et fait que le solide est capable d'une plus grande résistance dans le sens du tirage. Au milieu du corps s'élèvent un ou deux *talons* quadrangulaires qui, encastrés

dans une des parties en bois, empêchent l'essieu de glisser selon son axe.

On ne rend pas prismatique le corps de l'essieu en bois, à cause du fort écartissage que le grand diamètre des fusées forcerait de lui donner. Ce corps présente dans sa coupe transversale (fig. 38), un demi-cylindre ABC accolé à un prisme rectangle ACDE de même largeur. La hauteur du prisme excède le rayon du cylindre, pour donner plus de hauteur à l'épaulement, et que l'entaille nécessaire à l'assemblage ne nuise pas à la solidité.

184. Dans le matériel de *Gribeauval*, les corps de tous les essieux en fer étaient simplement des prismes rectangles. Dans le nouveau matériel, qui ne compte plus que quatre numéros d'essieux, les tracés ont été plus judicieusement établis.

L'essieu n° 1 appartient aux affûts de siège, et l'essieu n° 4 aux affûts de place. Le corps de chacun de ces essieux est encastré sur toute sa longueur, dans une pièce en bois qui répartit les percussions à-peu-près uniformément. On peut donc lui donner le même écartissage d'un bout à l'autre; aussi sa forme est-elle celle d'un prisme rectangle, comme dans les anciens essieux.

L'essieu n° 2 employé pour les affûts de campagne, n'est point encastré dans un corps en bois. Comme c'est toujours entre les faces extérieures des flasques que les essieux nus des affûts fléchissent ou se rompent, on rend l'écartissage de cette portion du corps supérieur à celui des deux parties qui se trouvent comprises entre les flasques et les fusées. La section droite de la première partie a plus en largeur qu'en hauteur, attendu que les percussions horizontales du tir l'emportent sur les percussions verticales : à partir des faces extérieures des flasques, la largeur et la hauteur vont en diminuant jusqu'aux extrémités du corps, où elles égalent le diamètre du gros bout de chaque fusée.

L'essieu n° 3 est principalement employé pour les voitures de campagne; exposé à moins de fatigue, il a un corps plus faible que celui du n° 2, mais les fusées sont les mêmes, parce qu'il n'existe, dans cet équipement, qu'un seul modèle de roues pour les voitures et les affûts. Conséquemment le carré d'épanlement du premier essieu égale celui du second. Le côté de ce carré forme la hauteur du corps de l'essieu n° 3; elle est la même d'un bout à l'autre, attendu qu'on est obligé de percer vers le milieu de la

longueur, deux trous de boulon par lesquels le fer se trouve affaibli.

C'est donc la largeur qui est moindre que dans l'essieu n° 2. Il vaut mieux en effet, pour réduire un prisme rectangle, opérer sur les faces perpendiculaires à la direction de la pression que ce solide doit supporter. Toutefois la largeur du corps de l'essieu n° 3 égale le côté des épaulmens sur une petite longueur, afin que les fusées aient toute leur grande base appuyée; ensuite elle diminue de manière que le plan du corps présente deux rectangles raccordés par des courbes légèrement concaves.

Les boulons qu'attendent les deux trous de l'essieu n° 3, y sont placés seulement dans le cas où cet essieu se trouve adapté à l'avant-train d'une voiture de batterie; ils l'empêchent de glisser à droite ou à gauche. On le fixe sur l'arrière-train bien plus simplement: les espèces d'embâses que le percement forme autour des deux trous, sont façonnées en talons qui s'encastrent dans les parties en bois de la voiture.

FUSÉES D'ESSIEU.

185. Les fusées de tous les essieux sont coniques; elles pourraient être cylindriques, mais elles seraient plus massives sans offrir plus de résistance, puisque d'après la théorie et l'expérience, leur section de rupture se trouve à leur jonction avec le corps de l'essieu. D'ailleurs, la forme conique est favorable au moteur, car elle donne pour bras de levier du frottement des fusées, une moyenne entre les diamètres extrêmes, tandis que la forme cylindrique rendrait ce bras de levier égal au plus grand de ces deux diamètres.

L'axe de chaque fusée est dans le même plan vertical que l'axe du corps de l'essieu; mais le premier n'est pas le prolongement du second: ils forment un angle tourné vers le sol.

L'inclinaison de l'axe d'une fusée dans l'essieu en bois, résulte uniquement de la différence qui existe entre les rayons des deux bases du tronc de cône; car la génératrice inférieure de la surface conique est le prolongement de celle de la partie cylindrique du corps d'essieu (183). Ce tracé contre-taille le bois aussi peu qu'il est possible et lui laisse plus de force; il était donc obligé pour les essieux en bois, qui furent les premiers employés.

186. Si l'on continua de donner une certaine inclinaison aux fusées, quand les essieux se firent en fer, c'est qu'à cette disposition avaient été reconnus les avantages suivans.

L'écartement des roues est moindre dans le bas que dans le haut; par conséquent, le rais le plus bas fait avec la normale au sol, un angle inférieur à celui qui résulterait du parallélisme entre l'axe du moyeu et le terrain. Les inconvéniens de l'écuaneur sont donc diminués (168); les rais se trouvent moins exposés à frotter contre les bords des ornières profondes, et les roues ne convergent pas par le haut, lorsque les fusées et les boîtes commencent à s'user dans leurs parties les plus voisines de la voiture: si cette convergence avait lieu, elle augmenterait de beaucoup l'effet nuisible que l'écuaneur permet à la charge de produire sur les rais et sur leurs assemblages. Enfin, l'augmentation de l'écartement des roues par le haut, laisse plus de place pour loger le chargement, ce qui est d'une grande importance en certains cas, et dans tous elle donne plus de facilité pour aborder les parties de la voiture situées près de l'essieu.

187. Nous examinerons ici ce qui advient quand, au lieu de supposer la force de traction dans le plan du cercle de la roue (45), on lui laisse la direction que donne le tracé des fusées. Cette direction est évidemment perpendiculaire à la génératrice selon laquelle le tronc de cône de l'essieu presse celui de la boîte.

Or, si l'axe de la fusée formait le prolongement de l'axe du corps d'essieu, la droite de contact s'inclinerait en arrière, sur le plan de symétrie de la voiture, et parce qu'elle se trouverait au-dessous de la génératrice horizontale, elle s'inclinerait aussi en remontant vers le plan horizontal des deux axes. L'abaissement du petit bout de la fusée rend presque nulle la seconde inclinaison, et l'on peut bien en faire abstraction; mais la première subsiste toujours.

Si donc AB (fig. 39) représente une perpendiculaire au plan de symétrie, les horizontales AA', BB' pourront figurer les génératrices de contact, et la puissance motrice Q produira deux pressions Q₁, Q₂, perpendiculaires au milieu de AA', BB'. Soit α l'angle de l'une de ces droites et du prolongement de AB; on aura

$$Q_1 = Q_2 = \frac{Q \sin \alpha}{\sin 2\alpha} = \frac{Q}{2 \cos \alpha}.$$

Mais chacune de ces pressions produit une force Q' parallèle à Q et une force q perpendiculaire; $Q' = Q_1 \cos \alpha = \frac{Q}{2}$; $q = Q_1 \sin \alpha = \frac{Q}{2} \tan \alpha$; la première pousse la roue en avant, avec toute l'énergie de la puissance motrice; la seconde tend à faire glisser cette roue parallèlement à l'essieu et vers le petit bout de la fusée.

Ainsi, deux causes tendent à éloigner de la voiture, les roues en mouvement: l'écuaneur (168) et la forme conique des fusées.

188. *Edgeworth*, auteur d'un grand nombre d'expériences relatives aux voitures, a cherché quelle influence pouvait avoir sur le tirage, la position des fusées par rapport au corps d'essieu. Voici ses observations qu'il est bon de connaître; elles ont été faites au moyen de voitures à un seul train roulant sur des planches, puis sur des bandes de fer.

1° Il y avait quelque avantage à incliner légèrement les axes des fusées vers le sol, en les maintenant dans le plan vertical de l'axe du corps d'essieu.

2° Quand l'inclinaison était très-grande, quand, par exemple, le bout des fusées était de $4^{\text{e}} \text{ ou } \frac{1}{2}$ au-dessous du corps d'essieu, le tirage devenait plus difficile que dans le cas où les trois axes se trouvaient en ligne droite.

3° Il y avait un désavantage très-marqué à placer les axes des fusées de manière qu'ils fissent avec celui du corps d'essieu, des angles tournés en avant.

4° Les avantages et les désavantages étaient plus prononcés, lorsque les voitures roulaient sur la matière la moins dure.

189. Le petit bout de chaque fusée est percé d'un trou rectangulaire, destiné à recevoir une pièce en fer appelée *esse*. La distance de ce trou à l'extrémité extérieure de la fusée, doit être aussi petite qu'il est possible, pour que la voiture soit moins exposée aux accrochemens. Cependant, le trou d'esse a au moins autant besoin de résister par sa paroi extérieure que par les parois perpendiculaires à celle-là.

L'esse empêche la roue d'obéir aux forces qui tendent à lui faire abandonner l'essieu (168 et 187); entre elle et le petit bout du moyeu, on place une rondelle de fer, pour que les percussions ne dégradent ni ce bout, ni la boîte. Une seconde rondelle est

mise contre l'épaulement de l'essieu en fer, afin de prévenir les dégradations que le gros bout du moyeu et la boîte ne manqueraient pas d'éprouver, par suite des chocs qui poussent la roue vers la voiture.

Quand l'essieu est en bois, la roue n'a pas besoin d'être préservée par une rondelle d'épaulement; c'est au contraire le corps de cet essieu qui doit être défendu contre l'action de la boîte en fer. On encastre donc dans l'épaulement même une ferrure appelée *heurtequin*, et plane à l'extérieur; pliée en fausse équerre, elle recouvre la fusée précisément dans la partie où s'exerce le frottement de l'une des boîtes de roue.

190. Enfin, on termine en bout d'œuf chaque fusée de fer, pour qu'elle glisse plus facilement, quand elle vient à effleurer des corps, pendant le mouvement de la voiture.

La même forme ne peut être donnée au petit bout de la fusée en bois: on le coupe perpendiculairement à l'axe, et comme il est affaibli par le trou d'esse, on le renforce d'une large virole encastree de son épaisseur, puis fixée par un rivet. Cette virole sert en outre à maintenir l'équignon, qu'on soutient encore près des épaulemens, par deux frettes fixées au moyen de *caboches*.

191. Malgré les précautions qui viennent d'être indiquées, les roues seraient promptement détruites par les cahots, si elles ne pouvaient se soustraire aux effets des moins violens qui sont les plus nombreux. Afin de leur en donner le moyen, on rend la distance du trou d'esse à l'épaulement de l'essieu un peu plus grande que la longueur du moyeu, augmentée des épaisseurs des deux rondelles; il en résulte un jeu qui permet à la roue de glisser sur la fusée; tantôt dans un sens, tantôt dans le sens contraire, en même temps qu'il facilite la rotation.

192. Il est aisé de comprendre que la voie d'une voiture d'artillerie dépend de l'inclinaison des fusées; en même temps que du tracé des roues et de la longueur du corps de l'essieu. Aussi dit-on *mettre un essieu à la voie*, pour indiquer l'opération par laquelle on incline convenablement les fusées. Après cette opération, la droite qui joint les deux trous d'esse, en-dessous, passe à 0^m,005 de la face inférieure du corps, ou bien l'axe de chaque fusée se trouve abaissé, au trou d'esse, de 0^m,005, plus la demi-différence des diamètres extrêmes. Il s'ensuit que cet

axe fait avec celui du corps d'essieu, un angle d'environ $2^{\circ}\frac{1}{2}$, dans l'équipage de campagne; et que l'écartement des jantes inférieures d'une paire de roues surpasse d'à-peu-près 0^m,08 l'écartement des jantes supérieures.

CHAPITRE DEUXIÈME.

COMPOSITION ET TRACÉ D'ENSEMBLE.

Malgré la dépendance mutuelle de la composition et du tracé d'ensemble (165), malgré la connexité apparente de ces deux choses, elles sont au fond très-distinctes. Deux voitures peuvent en effet présenter des pièces semblables, arrangées de la même manière, sans que les lignes du tracé dans l'une soient égales à celles de l'autre, et réciproquement il peut y avoir égalité entre les lignes du tracé correspondantes, sans que les parties se ressemblent ou offrent le même arrangement.

Nous placerons d'abord sous le titre de *composition générale*, quelques notions applicables à la composition de toutes les espèces de voitures et d'affûts; elles compléteront ce que nous avons été forcés de dire par anticipation sur ce sujet, pour rendre plus claire la théorie des voitures. Une section sera ensuite consacrée à la composition particulière du matériel qu'emploie chaque service de l'artillerie. Elle doit évidemment satisfaire aux conditions qu'impose la nature de ce service spécial, de même que le tracé d'ensemble est régi par les principes déduits de la théorie des forces auxquelles le système se trouvera soumis dans son emploi.

SECTION PREMIÈRE.

COMPOSITION GÉNÉRALE.

193. Une voiture a deux parties distinctes : l'une reçoit le fardeau à transporter, l'autre sert au moteur pour imprimer le mouvement et l'entretenir.

Dans les voitures à un seul train, le dernier cheval doit sou-

tenir le système, en maintenir la direction et la changer quand besoin est. Pour qu'il puisse remplir toutes ces fonctions, on le place entre deux leviers appelés *limons*, et cette seconde partie forme avec la première un système absolument rigide.

Dans les voitures à deux trains, c'est sur celui de devant qu'agit le moteur, et les changements de direction obligent à unir les deux parties par une simple articulation, par l'axe vertical appelé cheville-ouvrière; car l'avant-train doit pouvoir être placé sur la nouvelle direction, sans que l'arrière-train soit obligé de suivre le mouvement (118); s'il n'en était pas ainsi, les roues de derrière forcées de glisser sur le sol, en sens inverse, produiraient d'énormes frottements.

194. Il suit de là qu'un avant-train a lui-même deux parties, l'une qui reçoit l'action du moteur, l'autre qui soutient la portion antérieure de l'arrière-train. Quelquefois même cette seconde partie porte un chargement particulier.

Si une voiture à quatre roues doit être dirigée par un seul cheval, il est placé, comme celui de la charrette, entre deux leviers. Lorsqu'on emploie deux chevaux directeurs, ils sont attelés de front et séparés par un levier unique, situé dans le plan de symétrie de la voiture. Il y a donc des avant-trains à *bras de limonière*, et des avant-trains à *timon*.

Le mode d'action du moteur sur la première espèce d'avant-trains, soit pour soutenir, soit pour tirer, soit pour retenir aux descentes ou reculer, est absolument le même que dans la charrette (30).

La traction des derniers chevaux sur l'avant-train à timon, s'exerce au moyen d'une *volée de derrière*, placée parallèlement à l'essieu; elle en est éloignée d'une quantité plus grande que le rayon des roues voisines, afin que les cailloux mêlés à la terre dont se chargent les jantes dans un sol pénétrable, ne puissent jamais boucher l'intervalle et arrêter le mouvement de rotation. Les autres chevaux tirent sur les colliers des derniers, ou sur une volée de devant; elle est fixée au bout du timon, ainsi que deux chaînes qui servent à retenir la voiture et à la faire reculer.

Le centre de gravité de tout avant-train est situé en avant de l'essieu, afin qu'il ne puisse y avoir rotation en arrière. Le timon n'a donc pas moins besoin d'être soutenu que les bras

de limonière et les limons de la charrette. On le fait porter aux derniers chevaux, dans les voitures dont l'arrière-train est accroché derrière le premier essieu, et alors l'avant-train se compose d'aussi peu de pièces qu'il est possible. Dans les autres voitures, la partie antérieure du train de devant se trouve soutenue par l'appui que prend la partie postérieure sous le corps du train de derrière. En pareil cas, la cheville-ouvrière peut être placée au-dessus du premier essieu ou en arrière à une certaine distance. Cette seconde position donne un plus grand angle de tournant (125).

195. Nous avons appelé *pièce de contre-appui*, celle qui produit l'équilibre du timon, en pressant le dessous du corps de voiture. Elle est droite, parallèle aux essieux, et prend le nom particulier de *sassoire*, comme dans les avant-trains de *Gribeauval*, quand la cheville-ouvrière se trouve au-dessus du premier essieu, et que l'angle du tournant n'est pas grand. Sa longueur doit alors satisfaire à cette condition, que dans les changemens de direction, l'extrémité située du côté du pivot dépasse encore le corps de voiture, au moment où l'angle des deux trains atteint son maximum.

La sassoire ne peut plus être droite, si l'angle du tournant est très-grand; elle aurait trop de saillie à droite et à gauche. On la rend alors circulaire, en lui donnant pour centre un point de l'axe de la cheville-ouvrière.

Quand la même cheville est en arrière du premier essieu, elle traverse la pièce de contre-appui, et cette pièce n'a pas besoin d'avoir, pour les changemens de direction, plus de longueur que pour le cas où les deux trains ont le même plan de symétrie. Mais alors la pièce de l'avant-train sur laquelle repose le corps de voiture, se transporte à droite ou à gauche, pendant que l'on tourne, et c'est celle-là qu'il convient de rendre circulaire.

196. La composition du corps de voiture change avec la forme et la nature du chargement. Il arrive en effet que ce chargement peut être exposé aux injures de l'air sans inconvéniens, ou qu'il faut l'en préserver avec soin. Ce second cas, exige un ou plusieurs coffres; le premier permet plus de simplicité: il suffit que le chargement soit convenablement maintenu. Ces deux

règles sont évidemment applicables à la composition de la partie destinée au fardeau, dans les voitures à deux roues.

Si la charge est placée en totalité sur le corps de voiture, la composition doit la répartir sur toute la longueur, pour soulager le dernier essieu; alors la partie antérieure de l'arrière-train devient très-pesante, et on la fait reposer sur une pièce placée au-dessus du premier essieu.

Quand le chargement peut être divisé et qu'une portion est immédiatement placée sur l'avant-train, on la met au-dessus de l'essieu, et le corps de voiture a son appui tout contre la face postérieure de ce même essieu. Mais, comme dans une semblable position l'appui ne saurait offrir une très-grande résistance, le fardeau de l'arrière-train doit porter principalement sur l'essieu de derrière.

Un tel ensemble présente au fond deux voitures à deux roues accrochées l'une à l'autre. Leur composition diffère d'autant plus de celle des deux parties d'une voiture dont l'avant-train n'a point de chargement particulier, que le mode d'union des trains n'est pas à beaucoup près le même dans les deux cas.

Le système de construction qui fait de l'avant-train une voiture complète, a sur l'autre l'avantage de donner toute facilité pour séparer ou réunir les deux trains, et de produire une machine qui, se prêtant à toutes les formes du sol (102 et 103), peut jouir de la plus grande mobilité possible.

197. Au reste, la composition et le tracé d'une voiture quelconque doivent atténuer les résistances, autant que faire se peut; assurer la stabilité contre les chances de versement; procurer une mobilité suffisante; rendre les constructions peu dispendieuses, et ne point augmenter inutilement l'effort nécessaire au tirage.

Pour remplir la première condition, il faut donner aux roues toute la hauteur qu'elles peuvent avoir (181); réduire au minimum le diamètre moyen des fusées d'essieu (45); choisir pour ces fusées et les boîtes de roue, des matières dont le frottement soit faible (174), et obtenir l'angle de traction qui favorise le plus la puissance motrice (113).

La stabilité veut que le centre de gravité de la masse totale, chargement compris, soit peu élevé au-dessus du sol (95).

La mobilité exige que le même centre de gravité se trouve

assez rapproché du dernier essieu pour que l'avant-train ne soit pas chargé au point de ne pouvoir facilement changer de direction (93). Il faut aussi que le tournant soit court (116).

Enfin, les deux dernières conditions sont satisfaites, si l'on règle sur le poids du chargement, les dimensions des diverses pièces en bois et en fer, puisqu'alors le système jouit de toute la résistance dont il a besoin, sous la moindre masse possible.

198. On sent d'ailleurs combien il serait avantageux, que des voitures dont les parties doivent offrir à-peu-près la même résistance, eussent un avant-train commun. Mais cela ne peut avoir lieu, si elles ne sont pas construites dans le même système et qu'elles ne comportent pas le même mode d'attelage.

De là donc cet autre principe général de composition : Un seul système de construction et un seul mode d'attelage doivent être adoptés, pour toutes les voitures destinées à recevoir des chargemens à-peu-près égaux en poids.

Tout système d'artillerie bien raisonné a nécessairement pour base principale, le principe qui vient d'être énoncé, ou plutôt cet autre dont la portée est plus grande encore : Les parties destinées aux mêmes fonctions, dans les divers modèles de voitures, doivent avoir la même forme et les mêmes dimensions, autant du moins que le permettent les efforts à supporter.

L'observation d'un tel principe réduira de beaucoup le nombre des espèces pour chacune des parties ; par conséquent, la confection en sera plus prompte et plus exacte ; il y aura économie de temps et accroissement de solidité ; les approvisionnemens deviendront plus faciles ; enfin, ce qui est peut-être le point capital, les équipages trouveront plus de moyens de réparation dans une proportion donnée de rechanges. L'extrême importance de ces avantages généraux a été rendue si évidente par les dernières guerres, que pour les obtenir, on doit ne pas hésiter à sacrifier quelques avantages particuliers. Quant à la nature et à l'étendue des sacrifices qu'il est possible de faire, c'est l'expérience seule qui peut prononcer.

199. Les notions générales qui précèdent, sont applicables à ceux des affûts dont une des fonctions est le transport des bouches à feu ; mais les conditions qu'impose ce transport, acquièrent plus ou moins d'importance, selon la nature du

service pris dans son entier ; de sorte que c'est seulement l'examen de ce service qui peut conduire à la composition de chaque modèle d'affût.

SECTION DEUXIÈME.

ARTILLERIE DE SIÈGE.

Trois choses sont à considérer pour déterminer la composition d'un affût ; le tir, les manœuvres et le transport ; tandis que la première est tout-à-fait étrangère aux voitures proprement dites. Nous étudierons donc successivement les affûts et les voitures de chaque service.

AFFÛTS DE SIÈGE ET DE MORTIER.

200. L'objet de l'artillerie de siège est de ruiner toutes les défenses d'une place, et d'en ouvrir les remparts à l'armée attaquante. Comme ces effets ne peuvent être produits qu'avec des projectiles de très-gros calibres, lancés par des bouches à feu très-pesantes, le matériel de l'artillerie de siège n'est pas susceptible d'une grande mobilité ; aussi ses équipages ne suivent-ils pas les opérations de l'armée : ils marchent sur les derrières et quittent rarement les grandes communications, ou s'ils sont contraints de les abandonner et de prendre des chemins qui présentent des obstacles assez grands pour que les voitures ne puissent les franchir sans danger, ces obstacles sont aplanis par des travailleurs.

On voit donc déjà qu'il n'est pas nécessaire de rendre les voitures de l'équipage de siège propres à parcourir des terrains accidentés. Toutefois, ces voitures ayant à s'éloigner à de grandes distances des dépôts, il est aisé de sentir qu'il serait avantageux de composer les affûts de manière à leur permettre de transporter les bouches à feu. Mais avant d'établir à ce sujet quelque chose de positif, nous devons nous occuper des conditions qu'impose le tir, car la principale fonction d'un affût est de servir à l'exécution de la pièce.

201. Les bouches à feu actuellement en usage dans l'attaque des places, sont de quatre espèces différentes : les canons et les obusiers, les mortiers et les pierriers.

Le tir des canons et celui des obusiers s'exécutent de plein fouet ou à ricochet; mais dans l'un et l'autre cas les angles de tir n'ont pas besoin d'être de plus de 12° au-dessus de l'horizon. Les obusiers sont rarement pointés au-dessous de l'horizontale; c'est le contraire pour les canons dans les batteries de brèche, attendu qu'une brèche ne peut être rendue praticable, si on ne l'a pas ouverte en coupant le revêtement de l'escarpe suffisamment au-dessous du niveau de la contre-escarpe. Ainsi, l'inclinaison du tir varie dans ce cas avec la largeur et la profondeur du fossé; mais l'expérience apprend que l'affût procure un champ de tir assez étendu dans le sens vertical, lorsque l'axe de la pièce peut faire un angle de 12° au-dessous de l'horizon. Malgré la rareté des circonstances où l'obusier doit être pointé sous un pareil angle, il arrive pourtant qu'on est obligé de lui donner autant d'inclinaison qu'au canon. En conséquence, le même affût convient à ces deux espèces de bouches à feu, si leurs formes extérieures ont une analogie suffisante, et si leurs masses sont telles que cet affût puisse supporter les percussions de l'une ou de l'autre (159). Or, il en est ainsi pour tous les services dans le nouveau système d'artillerie; nous pourrions donc confondre désormais les canons et les obusiers, quant à ce qui concerne les affûts.

202. Les bombes lancées par les mortiers, sont destinées à frapper l'ennemi en éclatant derrière les abris qu'il oppose aux autres projectiles, et surtout à détruire ces abris : l'effet qu'elles produisent dépend de leur angle de chute, de leur masse, de la quantité de poudre qu'elles renferment, et de la vitesse qu'elles acquièrent en tombant. Elles doivent donc être d'un fort calibre, très-pesantes et suivre une trajectoire dont le sommet soit très-élevé; il est même convenable que cette trajectoire ait la plus grande amplitude possible, pour une charge donnée. Or, une ligne de tir inclinée à 45° satisfait entièrement à la seconde condition, et peu s'en faut qu'elle ne satisfasse à la troisième. Il faut donc pointer habituellement les mortiers sous l'angle de 45° , et par conséquent, cette espèce de bouche à feu a besoin d'un affût tout particulier.

Comme les pierriers se pointent également à 45° , afin que leurs projectiles puissent aussi atteindre l'assiégé derrière les

abris dont il se couvre, on leur donne les même affûts qu'aux mortiers, et cela nécessite que celles des formes et des dimensions qu'influent sur le tracé de l'affût, aient de certains rapports dans ces deux bouches à feu.

203. Ainsi, l'artillerie de siège emploie des affûts de deux espèces : celui des canons et des obusiers, celui des mortiers et des pierriers. Recherchons en quoi doit consister la différence de ces deux espèces, et faisons observer d'abord qu'on n'applique la dénomination d'*affûts de siège*, qu'à ceux qui doivent porter les canons ou les obusiers, attendu que le modèle d'affût de mortier qui convient à l'attaque des places, est encore employé pour leur défense et pour celle des côtes.

Les canons sont ordinairement pointés sous de petits angles. Les efforts exercés normalement au sol, pendant le tir, restent donc toujours assez faibles pour qu'on ne soit pas obligé de donner aux affûts plus de deux lignes d'appui (145).

Le boulet du plus fort calibre est facilement soulevé par un seul homme, jusqu'à hauteur de poitrine, et de là résulte que l'axe de la bouche à feu peut, sans inconvénient, se trouver à cette hauteur au-dessus du sol.

Rien ne s'oppose donc à ce que les flasques de l'affût de siège soient placés sur un essieu, comme les brancards d'une voiture ; aussi compose-t-on cet affût de manière qu'il peut porter sa bouche à feu dans les marches. Par là se trouvent considérablement réduits, le nombre des voitures de l'équipage de siège, les frais de transport et l'embarras des rechanges.

L'angle de tir des mortiers et le faible rapport de leur poids à celui du projectile, rendent tellement grande la percussion exercée par ces bouches à feu normalement au sol, que l'affût serait bientôt brisé, si ses points d'appui ne surpassaient pas en nombre ceux des affûts de canon. Afin de le rendre susceptible d'une résistance suffisante, on fait porter les flasques sur le sol, dans toute leur longueur, et l'on donne à ces flasques peu d'élevation, pour que les percussions qu'ils supportent, tendent plutôt à les écraser qu'à les faire ployer dans le sens vertical. L'affût de mortier n'a donc point de roues, et bien loin de pouvoir servir au transport de sa bouche à feu, il a besoin d'être transporté lui-même sur une voiture particulière.

De tout ce qui vient d'être dit, résultent les principes suivans :

1° La composition de l'affût de siège, doit le rendre propre au transport de la pièce, et permettre de pointer, soit à 12° au-dessus de l'horizon, soit à 12° au-dessous.

2° L'affût de mortier doit avoir très-peu de hauteur, reposer sur le sol dans toute sa longueur et permettre de pointer sous un angle de 45°.

Quant aux tracés d'ensemble, les règles en sont données dans le n° 158, et l'on trouve la direction selon laquelle chaque flasque de l'affût du mortier a besoin d'opposer le plus de résistance, au moyen de la formule du n° 139, qui fournit l'angle formé par cette direction avec l'horizontale, pour le cas où l'explosion comprime tout le système contre le sol.

204. Voyons maintenant dans quelles circonstances s'exécute le tir, afin d'en déduire de nouvelles règles relatives à la composition des affûts. Comme ces circonstances sont, pour les canons et les mortiers, à très-peu près les mêmes que pour les obusiers et les pierriers, nous considérerons seulement celles qui concernent les deux premières espèces.

Les bouches à feu de siège forment des batteries fixes, dans lesquelles les canonniers sont abrités des feux de la place par un épaulement. Mais, pour le tir du canon, cette masse de terre est percée d'embrasures qui donnent accès aux projectiles de l'ennemi. Conséquemment, la genouillère et par suite l'axe de la pièce doivent avoir toute l'élévation que permettent la facilité des manœuvres et la stabilité de l'affût considéré comme voiture.

Une bouche à feu de siège et son affût composent un système tellement pesant qu'il s'enfoncerait dans le sol de la batterie, surtout par un temps pluvieux, si son emplacement fixe n'était pas convenablement préparé à l'avance ; il faudrait alors un grand nombre de servans pour la manœuvre ; le recul ne pourrait avoir lieu et l'affût souffrirait beaucoup dans le tir à fortes charges. Les plates-formes au moyen desquelles on prévient ces graves inconvéniens, doivent avoir peu d'étendue, pour être plus tôt établies, plus faciles à défilier, et pour qu'elles absorbent moins de bois. Ce dernier motif est d'une haute importance, car plus il entre de bois dans les plates-formes, et plus le transport de leurs élémens exige de voitures.

Ainsi, d'un côté la conservation des affûts veut qu'il y ait recul ; de l'autre l'économie le limite. A l'économie se joint la nécessité de rendre prompte l'exécution de la bouche à feu ; mais il faut aussi que les canonniers puissent charger commodément et sans être obligés d'augmenter la distance des roues à l'épaulement, ce qui d'ailleurs allongerait la manœuvre.

Enfin, le pointage, le retour en batterie et le recul à bras, nécessaire dans certains cas, demandent que les servans puissent agir facilement sur l'affût, à l'aide de leurs leviers, et même qu'un seul homme soit capable de faire glisser les crosses à droite ou à gauche.

Les circonstances du tir conduisent donc aux principes suivans pour les canons :

1° L'affût doit élever la pièce à la plus grande hauteur que permette la manœuvre.

2° Le recul doit être borné à ce qu'exige l'opération du chargement de la pièce.

3° Aux deux côtés de l'affût doivent se trouver des points d'application pour les leviers de manœuvre, les uns en avant de l'essieu, d'autres en arrière et d'autres encore près des crosses.

205. Le mortier n'a pas besoin d'embrasure ; il peut tirer par dessus l'épaulement ; mais on doit l'en éloigner à une distance suffisante pour que la bombe n'écrête point la masse convrante. La condition du défilement exige donc un recul très-borné. L'économie des bois limite aussi la longueur de la plate-forme ; elle est d'autant plus à considérer, que la grande intensité des percussions normales au sol, impose un fort écartissage aux lambourdes. Or le moyen de restreindre le recul plus encore que ne fait la grandeur de l'angle de tir, c'est de rendre très-lourd le système de la bouche à feu et de l'affût. Alors une manœuvre aux leviers devient nécessaire pour remettre en batterie et pointer.

Si nous ajoutons que les bombes sont en général très-pesantes et qu'il faut les placer dans l'âme avec précaution, on verra que les circonstances du tir des mortiers fournissent aussi trois principes, dont le premier a déjà été déduit des effets de l'explosion (203).

1° L'affût doit élever la bouche de la pièce aussi peu qu'il est possible.

2° Il a besoin d'être d'un grand poids.

3° Il lui faut des points d'application pour les leviers, les uns à la tête d'affût, les autres à la queue.

Ces principes joints aux deux qui terminent le n° 203, suffisent à la composition des affûts de mortiers, car ceux-là sont parfaits s'ils conviennent au tir et aux manœuvres que le tir occasionne. Mais la composition des affûts de siège n'est pas complètement déterminée par les règles établies dans les n° 203 et 204. Il faut encore considérer le cas où ces affûts sont réunis à leurs avant-trains, pour transporter les bouches à feu. Nous les comprendrons à cet effet dans l'examen général des voitures de l'équipage de siège.

VOITURES DE SIÈGE.

Les voitures de l'équipage de siège forment deux classes : la première renferme celles qui servent au transport des bouches à feu et des affûts de mortiers ; la seconde se compose de celles qui portent les approvisionnemens de toute espèce et les outils nécessaires aux réparations.

VOITURES DE LA PREMIÈRE CLASSE.

206. Les voitures de la première classe sont les affûts et le chariot porte-corps.

Les affûts de siège étant construits pour porter leurs canons dans les marches, il semblerait que le porte-corps ne dût pas être affecté à ce service ; mais on peut avoir à faire passer des pièces d'un point à un autre dans l'intérieur de la France, sans qu'il y ait nécessité de faire marcher les affûts, et les bouches à feu de siège sont employées à la défense des places et des côtes. Il est donc indispensable, pour certains déplacements obligés de ces bouches à feu, pour l'approvisionnement des places, et pour l'armement des côtes, de donner au chariot porte-corps, qui doit transporter les mortiers et leurs affûts, une composition telle qu'il puisse également charier les canons. Il faut même qu'une disposition simple rende cette machine propre au transport des projectiles creux de gros calibres, pour lesquels on serait obligé, sans cela, d'employer une voiture

particulière, attendu qu'aucune de celles qui forment actuellement l'équipage, ne peut avoir la solidité nécessaire par un chargement aussi lourd.

207. Les marches d'un parc et les mouvemens qui s'opèrent pendant un siège, voilà les deux circonstances à considérer pour déterminer les conditions auxquelles le transport des fardeaux assujettit les voitures de la première classe.

Les marches se font parfois dans de mauvais chemins; mais jamais l'équipage n'est exposé à parcourir des terrains très-accidentés. Ainsi, sous le rapport de la locomotion ordinaire, il suffit de rendre facile le roulage de l'affût de siège et du porte-corps, puis de choisir un mode d'attelage qui permette à chaque cheval de consommer utilement toute la quantité d'action dont il est journellement capable. Ces deux conditions conduisent à l'adoption du système des voitures à quatre roues dans lesquelles l'avant-train a une pièce de contre-appui et une volée de devant (34 et 92).

Les mouvemens qui s'opèrent pendant un siège, sont relatifs à l'armement des batteries; mais cet armement ne se fait pas de la même manière pour celles des parallèles et pour celles du couronnement du chemin couvert. Lorsqu'il s'agit des premières, les circonstances où se trouvent les voitures sont les mêmes que dans les marches ordinaires, si ce n'est pourtant que le trajet pouvant avoir lieu sous le feu de l'ennemi, doit se faire très-promptement, et que les difficultés habituelles du tirage se trouvent encore augmentées par la nature du terrain; car la colonne chemine alors à travers champs.

L'armement des batteries de brèche est plus périlleux encore, à raison de la proximité des assiégés. Arrivées aux glacis, les voitures doivent, si la défense est vigoureuse et bien conduite, marcher couvertes par les travaux de l'attaque; elles ont donc à passer dans les tournans des communications qui joignent la troisième parallèle au couronnement du chemin couvert; elles ont même à cheminer dans ce couronnement, et l'on se trouve obligé de les faire traîner par des hommes. Il serait impossible, en effet, d'employer dans des changemens de direction aussi brusques, un attelage assez nombreux pour le fardeau; d'ailleurs les chevaux effrayés par le feu de l'ennemi, n'agiraient plus

ensemble, et il suffirait qu'un seul cheval vînt à être tué, pour que la marche se trouvât arrêtéc.

Mais, non-seulement les voitures doivent être traînées à bras dans les tranchées, il faut encore ôter l'avant-train avant d'y entrer, et transporter ensuite la charge sans autre moyen que le corps de voiture; car par suite du peu de largeur des communications, on emploierait beaucoup de temps à doubler les condés avec une voiture à deux trains; en supposant toutefois que sa composition lui donnât un tournant assez court pour que cette opération fût possible.

Le transport des bouches à feu dans les marches des parcs et dans les mouvemens à opérer pendant le siège, imposent donc aux affûts et au porte-corps les conditions suivantes :

1° Ces voitures doivent être à quatre roues.

2° L'avant-train a besoin d'une pièce de contre-appui et d'une volée au bout du timon.

3° L'arrière-train isolé doit former une voiture à deux roues qu'on puisse aisément faire rouler à bras.

A ces conditions il faut joindre bien entendu celles auxquelles est soumise une voiture quelconque (197).

208. Voyons maintenant quels principes de composition prescrivent les manœuvres de force qui s'exécutent dans l'équipage de siège.

Les pièces étant très-pesantes, n'occupent pas sur leurs affûts, la même position pendant les marches et pendant le tir : dans ce dernier cas, leur poids est entièrement porté par l'essieu de l'affût, tandis que dans le premier, il faut le répartir entre les deux trains, afin de rendre la traction aussi facile qu'elle peut l'être (93). De là, pour les tourillons, un encastrement de tir et un emplacement de route; de là aussi la nécessité d'une manœuvre de force, quand il s'agit de faire passer la pièce de l'une des deux positions à l'autre. Cette manœuvre, la seule qui concerne le système de l'affût et de l'avant-train, est plus ou moins facile, selon les moyens employés pour maintenir la pièce dans les marches, le nombre d'hommes qu'on peut faire agir et l'aisance avec laquelle ils agissent; mais, comme elle doit se faire dans la batterie même, il est essentiel qu'on puisse l'exécuter simplement, avec des rouleaux, des leviers et des cordages.

Le chargement et le déchargement sont les seules manœuvres auxquelles donne lien l'emploi du porte-corps. Elles se font dans la batterie, quand le fardeau est un mortier placé sur son affût, et par conséquent, elles doivent alors n'exiger non plus aucun appareil compliqué; une chèvre, par exemple, deviendrait, en s'élevant au-dessus de la masse couvrante, un signal qui avertirait l'ennemi de diriger son feu sur un point où l'on ne serait pas en mesure d'y répondre.

Lorsque la charge est un canon ou un obusier, on peut avoir à faire passer la pièce de son affût sur le porte-corps, et réciproquement, à placer sur cette voiture une pièce qui gît à terre, on bien à opérer d'une manière inverse. Comme il est possible qu'on soit obligé d'exécuter les deux premières manœuvres dans la batterie, elles doivent exiger seulement des rouleaux, des leviers et des cordages; pour les deux autres, qui ne se font jamais en présence de l'ennemi, puisqu'elles supposent la pièce éloignée de son affût, on peut admettre l'emploi d'une chèvre.

Des manœuvres de force dérivent donc deux nouveaux principes de composition :

1° L'affût nni à son avant-train, doit permettre de faire passer la pièce de l'encastrement de tir à l'emplacement de route, et réciproquement, sans autres moyens que des rouleaux, des leviers et des cordages.

2° Le porte-corps doit donner la facilité d'opérer dans tous les cas son chargement et son déchargement, à l'aide des seuls agrès qui viennent d'être indiqués.

VOITURES DE LA DEUXIÈME CLASSE.

209. *Gribeauval*, en établissant son matériel d'artillerie, conserva, pour porter les approvisionnements des parcs de siège, le système de voitures à un seul train employé avant lui. Les raisons qui le déterminèrent, furent sans doute la lenteur de la marche de ces parcs, la nature des chemins qu'ils ont à parcourir, l'économie des constructions, et peut-être encore la nécessité d'accorder quelque chose aux partisans de l'ancienne artillerie, pour qu'ils fussent moins contraires à ses innovations.

La conservation de la charrette ne présentait pas d'ailleurs de grands inconvénients, puisque les autres voitures de l'équipage

avaient le même mode d'attelage et que rien n'y fut changé : les mortiers, leurs affûts, les obusiers étaient en effet portés sur une voiture à un seul train, et les affûts de canons avaient un avant-train à bras de limonière.

Mais, aujourd'hui qu'une composition bien raisonnée de l'affût de siège permet de lui donner un avant-train à timon, aujourd'hui que les mortiers et leurs affûts sont portés sur une voiture à deux trains, qui convient parfaitement à ce service, aujourd'hui surtout que le matériel de campagne a pris une très-grande extension relativement au matériel de siège, on doit, pour la facilité des approvisionnements dans les arsenaux, pour celle des rechanges en campagne, pour diminuer le nombre des espèces de voitures, pour économiser la puissance motrice, pour éviter la confusion où jetteraient deux modes d'attelage très-différens ; on doit, disons-nous, composer les voitures de la deuxième classe selon le système à deux trains, qui est celui des voitures de la première classe, et de toutes celles de l'artillerie de campagne. Ce serait une grande faute que de séparer deux matériels qui se construisent dans les mêmes arsenaux, et servent aux opérations de la même armée ; il faut au contraire les confondre entièrement ; il faut que les constructions de l'artillerie forment un système unique.

Ainsi, les voitures de l'équipage de siège comprises dans la deuxième classe, doivent être les mêmes que celles qui ont des fonctions analogues dans l'équipage de campagne. Ce principe, adopté pour le nouveau système d'artillerie, la force des choses l'avait déjà fait mettre en pratique lors des dernières guerres ; car il est à peu près vrai de dire que les voitures à un seul train figurèrent seulement dans quelques parcs de siège organisés en France pour agir à peu de distance des frontières.

210. Néanmoins, il n'est pas possible de supprimer tout-à-fait la charrette : les transports qui se font des dépôts aux batteries, pendant l'attaque d'une place, exigent l'emploi de voitures propres à passer aisément dans les tournans très-courts des tranchées, et cette condition ne pourrait être remplie par une voiture à deux trains. Mais la charrette conservée doit être affectée uniquement au service des batteries de siège, et par conséquent, il lui faut peu de longueur. Quant à sa forme, il suffit qu'elle

permette d'y charger des projectiles, des barils de poudre, et des plates-formes de mortiers.

Voilà tout ce que nous dirons, pour le moment, des voitures de la deuxième classe; celles qui ont deux trains, ne seront examinées qu'à la section de l'artillerie de campagne, parce que c'est spécialement pour ce service qu'elles ont été composées.

Ajoutons cependant qu'un certain nombre de triqueballes entrent dans l'équipage de siège : ces machines donnant le moyen de transporter de très-lourds fardeaux avec une grande facilité, sont utiles pour les déplacements qu'exige le service des parcs; mais, comme on les emploie plus particulièrement dans les places, nous renvoyons leur composition à la section suivante.

SECTION TROISIÈME.

ARTILLERIE DE PLACE.

211. L'emploi de l'artillerie varie dans les places selon les différentes périodes de la défense. Elle sert d'abord à prévenir ou à repousser un coup de main; plus tard elle appuie les sorties et retarde les progrès de l'attaque, en tirant des ouvrages avancés; enfin elle contrarie les autres travaux et ruine les batteries de l'ennemi, en tirant des fronts de la place.

Pour mettre l'enceinte à l'abri d'un coup de main, on défend les fossés par des pièces placées sur les flancs; ces pièces devant tirer dans des embrasures, afin de mieux découvrir le pied de l'escarpe, sont montées soit sur des affûts de campagne, soit sur des affûts de siège.

Les sorties sont secondées par des batteries mobiles, composées de la même manière que les batteries de campagne.

L'artillerie des ouvrages détachés doit être aussi très-mobile, pour qu'on puisse prolonger la défense jusqu'à l'époque où la prise de ces ouvrages est devenue inévitable, sans courir le risque d'être obligé d'abandonner les pièces; et comme la condition de mobilité est pleinement remplie par l'artillerie de campagne, c'est ce matériel qui forme presque toujours l'armement des ouvrages éloignés de la place.

La quatrième fonction de l'artillerie, celle de s'opposer aux

travaux avancés de l'assiégeant, constitue véritablement la défense; on monte les canons employés à cet effet, sur un affût d'un modèle particulier qui a reçu le nom d'*affût de place*; ils sont puissamment secondés par des mortiers, et même par des obusiers de campagne placés dans le chemin couvert.

Ainsi, les affûts nécessaires à la défense des places sont de quatre espèces: l'affût de place proprement dit, l'affût de mortier, l'affût de siège et l'affût de campagne. Ces deux dernières espèces ont en général à fonctionner comme dans leurs services propres; elles ne subissent donc aucune modification, à moins qu'il ne se présente une circonstance où l'on soit obligé de s'en servir pour suppléer aux affûts de place; alors on les modifie de la manière qui semble convenir le plus à leur nouvel emploi.

Les mortiers s'exécutent dans la défense absolument comme dans l'attaque, et par conséquent les mêmes affûts servent pour les deux cas. Ces bouches à feu sont précieuses par les effets que produisent leurs projectiles sur les travaux de l'assiégeant, par leur genre de tir, qui permet de les placer dans des positions où les boulets de l'ennemi ne sauraient arriver, par leurs affûts enfin qui présentent fort peu de surface et ne peuvent être atteints que très-difficilement.

Dans la défense rapprochée, l'assiégé fait encore usage de pierriers; mais nous n'avons rien à dire de particulier sur les affûts de ces bouches à feu, car ils sont les mêmes que ceux des mortiers.

AFFÛTS DE PLACE.

212. Des quatre affûts employés à la défense, l'affût de place proprement dit, est donc le seul dont il nous reste à parler. Pour trouver les conditions auxquelles sa composition doit satisfaire, nous rappellerons succinctement les opérations successives de l'assiégeant et celles de l'assiégé.

L'assiégeant exposé au feu de la place et aux sorties, ne peut avancer qu'en construisant des travaux qui le rendent maître du terrain, et lui ménagent des communications sûres avec ses parcs. Contrarié sans cesse par l'artillerie de l'assiégé, il a d'abord pour but principal de la réduire au silence, et comme les circonstances ordinaires du sol et de la fortification lui donnent l'immense avantage de choisir à volonté l'emplacement de ses

batteries, il les dispose de manière que chacune des faces des ouvrages qui ont vue sur les attaques, soit à la fois prise d'enfilade et de plein-fouet. Aussi les projectiles lancés de ces batteries agissent-ils avec une telle efficacité, qu'habituellement l'assiégé ne peut plus tenir derrière ses parapets qu'une pièce auprès de chaque traverse.

Mais, avant le moment où commence le feu de l'attaque, l'assiégé est libre sur ses remparts; il les garnit alors d'une nombreuse artillerie, avec laquelle il s'oppose aux travaux qui précèdent l'établissement des batteries, et surtout à la construction de ces batteries; puis avant de diminuer l'activité de sa défense, il mesure ses forces avec celles de l'assiégeant.

Pour ralentir les travaux de l'attaque, chaque pièce de la place doit avoir un champ de tir très-étendu. Pour s'opposer avec succès à l'établissement des batteries, et les attaquer avec quelque avantage, quand elles sont armées, l'assiégé doit se ménager la facilité de diriger sur chacune toutes les pièces des ouvrages qui peuvent l'apercevoir. Ce n'est même qu'après avoir vaincu sur un premier point, qu'il peut en attaquer un second de la même manière; car, si au lieu de faire converger ainsi ses feux, il les dispersait, une grande quantité de munitions serait consommée en pure perte.

Ce jeu de l'artillerie de la place, quoique le plus propre à entraver les travaux du siège, ne les arrête cependant pas entièrement; bientôt même l'assiégeant acquiert la supériorité, par suite de l'avantage de sa position, de la puissance de ses batteries et de l'abondance de ses munitions. L'assiégé finit donc par être obligé de réduire son armement, et alors cessant de combattre l'artillerie ennemie, sans toutefois cesser de l'inquiéter, il dirige son feu sur les têtes de sape; mais toujours attentif à saisir le moment favorable au déploiement de ses forces, il recommence un feu vif, chaque fois qu'il juge que l'assiégeant n'est pas en mesure de lui répondre sur-le-champ. Or celui-ci se trouve surtout dans une telle circonstance, quand il désarme ses premières batteries pour armer celles qu'il a établies plus près de la place. C'est donc alors que l'assiégé doit de nouveau garnir complètement le front attaqué, et redoubler la vigueur de sa défense.

Lorsque l'artillerie de la place est bien servie, il est difficile pour l'ennemi de pousser ses travaux avec activité pendant le jour; c'est seulement à la faveur de la nuit que ses progrès deviennent rapides. L'assiégé, pour s'y opposer de son mieux, reconnaît à la chute du jour les points sur lesquels il doit diriger son tir nocturne, et de temps à autre il éclaire la marche de l'attaque, en lançant des balles à feu.

215. Il est maintenant facile de déterminer les conditions auxquels doit satisfaire l'affût de place. On sent d'abord qu'il importe de ménager les canonniers, si peu nombreux et si nécessaires à la défense. L'épaulement devra donc les couvrir entièrement, pendant toute l'exécution de la bouche à feu. En conséquence, point d'embrasures profondes, qui d'ailleurs retardent la mise en batterie et ouvrent le parapet à l'assiégeant. Mais ce n'est pas assez de tirer par-dessus la masse couvrante; il faut encore pouvoir diriger la pièce sur tous les points de la campagne, afin surtout d'avoir la facilité de faire converger les feux de chaque front vers un même but.

La nécessité de retirer les bouches à feu et de les remettre en batterie alternativement, exige aussi une assez grande mobilité dans l'affût de place; il aura donc des roues et un roulage facile. Autrement, on serait obligé de transporter la pièce sur une voiture particulière, d'où résulteraient des chargemens et des déchargemens qui prendraient beaucoup de temps et nécessiteraient des manœuvres de force, opérations à-peu-près impraticables dans les circonstances dont il s'agit, ou tout au moins fort dangereuses, surtout quand elles demandent l'emploi d'une chèvre (208).

Les dernières conditions forcent à donner une certaine largeur et une certaine longueur aux affûts de place; mais ces dimensions doivent ne jamais dépasser le strict nécessaire, car l'artillerie d'un rempart est fort exposée au feu d'enfilade. D'ailleurs, il faut conserver à la circulation sur le terre-plein le plus d'espace possible, et ménager celui que les traverses opposées au ricochet, laissent pour l'emplacement des batteries; les longs intervalles qu'on est obligé de mettre entre des pièces qui ont besoin d'un grand champ de tir, en diminuent déjà beaucoup le nombre.

La circulation impose en outre au recul une limite très-rap-prochée. Cependant, elle ne doit pas l'être au point qu'on ait besoin pour écouvillonner ; d'éloigner les pièces de l'épanlement après l'explosion, même quand le tir se fait à faible charge. Il convient aussi que le recul dérange fort peu la ligne de mire, et qu'il soit facile de ramener l'axe dans la direction précédente. L'affût devra donc pivoter aisément, condition qui naît d'ailleurs de l'étendue à donner au champ de tir. Il en résultera de plus que les servans seront moins nombreux, conséquence importante, puisqu'une place doit pouvoir être défendue par une faible garnison, et que cette garnison diminue chaque jour. Au reste, le nombre des servans de chaque pièce sera restreint encore davantage, si le retour en batterie exige peu d'effort.

Enfin, l'affût de place doit être construit de manière qu'il puisse résister à toutes les intempéries des saisons ; car pour ne pas être surpris sans défense, on est obligé d'établir quelques pièces sur les remparts, dès que l'état de siège est déclaré, et ces pièces destinées à frapper les premiers coups contre un ennemi qui peut-être ne se présentera pas, peuvent avoir à rester fort long-temps en batterie.

214. Voilà bien des conditions à remplir, et cependant la construction de l'affût de place doit être simple et peu coûteuse : simple, parce qu'on est souvent obligé, pendant la défense, de recourir à des ouvriers peu habiles, non-seulement pour les réparations, mais encore pour la confection d'affûts neufs ; peu coûteuse, attendu que le matériel des places absorbe un fort grand capital, chaque ville forte devant être pourvue de tout ce qui lui serait nécessaire en cas de siège. D'ailleurs, les affûts sont tellement exposés aux coups de l'ennemi, qu'une vigoureuse défense en fait consommer un grand nombre.

Heureusement, la simplicité et l'économie sont possibles, sans obliger au sacrifice d'aucune condition. Les affûts de place recevant des bouches à feu très-pesantes, n'ont pas habituellement de grandes percussions à supporter dans le tir (150) ; par conséquent, leur composition n'a pas besoin d'être compliquée ; et comme ils peuvent être très-massifs, sans que la célérité du service en souffre, rien n'empêche de donner aux parties en bois de fortes dimensions, pour réduire les ferrures à un petit nombre, et diminuer ainsi les frais de construction.

215. On voit donc qu'en résumé l'affût de place doit, pour être convenablement composé,

1° Élever la pièce à la hauteur qu'exige le tir à barbette, afin que les canonniers soient complètement couverts pendant la manœuvre;

2° Donner un champ de tir qui permette de battre tous les points de la campagne;

3° Avoir assez de mobilité pour parcourir les remparts chargé de sa bouche à feu;

4° Pouvoir entrer promptement en batterie;

5° Occuper peu d'espace, soit en largeur, soit en longueur;

6° Offrir peu de prise au ricochet;

7° Se manœuvrer très-facilement;

8° Présenter des points d'application aux leviers des servans;

9° Porter un appareil qui rende le pointage très-prompt;

10°. Enfin, être d'une construction simple, peu coûteuse et capable pourtant de supporter les intempéries des saisons.

VOITURES DES PLACES.

216. Les transports à effectuer dans les villes assiégées sont relatifs à la construction des batteries, à leur armement et à leur approvisionnement. Les objets que nécessite la construction et ceux qui forment l'approvisionnement, peuvent être conduits sur des voitures de réquisition; mais si l'on emploie des voitures d'artillerie, la charrette et le chariot de parc sont particulièrement propres à ce service.

Dans les places qui ont peu de développement, le transport des munitions se fait habituellement par des soldats d'artillerie, à l'aide de civières ou de brouettes; ces moyens sont mêmes les seuls qu'on puisse mettre en usage, quand il s'agit d'approvisionner les ouvrages extérieurs.

Les canons et les obusiers sont transportés sur leurs propres affûts, s'ils appartiennent à des batteries du corps de place; mais, comme on ne peut arriver aux ouvrages extérieurs, qu'en passant par des poternes, dont les voûtes sont basses et très-étroites, on est obligé d'y conduire les bouches à feu sur un *porte-corps*, qui sert aussi à opérer toutes les locomotions des mortiers et de leurs affûts; cependant le transport de ces derniers

objets se fait plus particulièrement au moyen d'un *triqueballe*, lorsqu'on ne doit pas sortir de l'enceinte.

217. Le porte-corps employé dans les places, doit avoir des roues assez basses pour qu'il puisse passer avec son fardeau sous les voûtes; en remplissant cette condition, on rend d'ailleurs très-facile le chargement et le déchargement. Il faut de plus une voie proportionnée à la largeur des poternes, et un tournant très-court, à cause des coins formés par les rues étroites des villes fortes.

218. Le triqueballe est une voiture fort différente des autres; il sert pour transporter de lourds fardeaux à de petites distances et sur des chemins convenablement préparés. L'arrière-train a des roues très-hautes, parce que le grand poids de la charge oblige à la placer au-dessous de l'essieu. Il en résulte aussi qu'une autre condition, celle d'un roulage facile, se trouve satisfaite. Enfin, un mécanisme permet à un petit nombre d'hommes d'opérer le chargement le plus difficile; il doit avoir une solidité qui donne toute sécurité pour la manœuvre et la marche.

SECTION QUATRIÈME.

ARTILLERIE DE COTE.

219. Après ce qui vient d'être dit sur l'artillerie des places, nous n'aurons pas à nous étendre beaucoup sur celle des côtes.

Les batteries destinées à défendre les bords de la mer, sont mobiles ou fixes. Les premières doivent empêcher les débarquemens ou soutenir les troupes qui combattent un ennemi déjà débarqué; or, ces fonctions rentrent évidemment dans celles de l'artillerie de campagne dont nous nous occuperons bientôt. Les batteries fixes sont affectées à la défense des points principaux, tels que les ports et les rades; on les compose de trois espèces de bouches à feu: canons, obusiers, mortiers. Ces bouches à feu sont en batterie derrière un épaulement, et tirent sur des objets très-mobiles: les vaisseaux et leurs embarcations.

Les mortiers s'exécutent comme dans les sièges et sont montés sur les mêmes affûts; aussi leur tir est-il très-incertain. Cependant, les bombes effraient beaucoup l'ennemi, parce qu'une seule tombée à bord, mettrait le vaisseau dans un grand péril.

Pour que les canons et les obusiers produisent tous les effets qu'on peut en attendre, l'affût de côte doit donner un grand champ de tir, permettre aux canonniers de manœuvrer toujours à couvert, rendre l'exécution de la bouche à feu extrêmement prompte et le pointage très-facile. On sent bien effectivement qu'une pièce placée derrière une masse couvrante, ne pourrait pas toujours être dirigée sur un objet mobile, et porter plusieurs coups avant que cet objet fût hors d'atteinte, si toute la manœuvre ne s'opérait pas avec rapidité, et qu'il y eût des limites resserrées pour le champ de tir.

220. Le rapprochement des conditions précédentes et de celles qui ont été établies pour l'affût de place, montre que l'artillerie des côtes et celle des villes fortes peuvent employer les mêmes affûts, si elles sont formées des mêmes bouches à feu. Ainsi, la similitude parfaite des deux matériels est-elle adoptée aujourd'hui. Il en résulte entre autres avantages importants, celui de simplifier l'approvisionnement en bois de construction, et celui de réduire de beaucoup le matériel qu'il convient de tenir en réserve dans les directions maritimes.

221. Le double service de l'affût de place donne lieu à deux observations. Les batteries de côtes ont quelquefois à défendre des rades, dans lesquelles les vaisseaux peuvent mouiller à une très-grande distance de toute terre; par conséquent, les bouches à feu de ces batteries doivent tirer sous de grands angles et avec des charges de poudre très-fortes; tandis que dans la défense des places, au contraire, les effets à produire n'exigent que de petits angles et de faibles charges. C'est donc pour l'emploi sur les côtes, qu'il faut fixer la résistance de l'affût commun aux deux services, le recul qu'on peut lui laisser, et le plus grand angle de tir qui doit être permis par la composition.

Conséquemment, on doit s'efforcer d'appliquer au tracé d'ensemble, tous les principes théoriques qu'établit la deuxième partie de ce livre; car les conditions du n° 215 peuvent rendre très-grands les effets des percussions dues aux angles de tir et aux charges.

La seconde des observations à faire, est qu'il n'y a pas à craindre, en donnant à l'affût la mobilité nécessaire au rapide pointage des batteries de côtes, de lui ôter la propriété, im-

portante pour le service des places, de conserver la direction du tir ; car s'il n'avait plus cette propriété, il serait facile de la lui rendre par des moyens accessoires fort simples.

Ajoutons que le double emploi fait de l'économie des ferrures, une condition de rigueur (214) ; car elles sont promptement détériorées par les bronillards de la mer. On remarque effectivement sur des affûts de côte, hors de service pour cause de vétusté, que les ferrures engagées dans le bois, comme les boulons d'assemblage, sont rongées par la rouille, au point d'avoir perdu la moitié de leur diamètre primitif.

222. A cela se réduit ce que nous avons à dire sur le matériel destiné à la défense des côtes. Il ne doit pas, en effet, renfermer de voitures d'une composition particulière, puisque les pièces ne changent pas de position en présence de l'ennemi, et que leurs approvisionnemens se trouvent dans des magasins situés tout près d'elles.

Cependant, il faut construire les batteries, les armer et remplir leurs magasins. Or, les nombreuses conditions auxquelles l'affût de place doit satisfaire, ne permettent pas de lui donner une composition qui le rende propre à transporter sa bouche à feu hors des villes fortes, surtout à de grandes distances. On se sert donc pour conduire les pièces à la côte, du chariot porte-corps de l'équipage de siège, ou du triqueballe en usage dans les places. Quant aux approvisionnemens de toute espèce, qu'exige la construction des batteries et leur service, ils peuvent être transportés sur celles des voitures de siège qui sont destinées à recevoir des chargemens analogues.

SECTION CINQUIÈME.

ARTILLERIE DE CAMPAGNE.

223. Les voitures de l'équipage de campagne ont à transporter les bouches à feu et les munitions d'artillerie, les approvisionnemens, les outils et les réchanges nécessaires à l'entretien du matériel, du harnachement et de la ferrure des chevaux, enfin les munitions des troupes, parce que c'est l'artillerie qui les confectionne et qu'on ne peut charger l'infanterie, ni la cavalerie de la conduite et de la conservation d'un parc. Comme il serait

impossible à l'équipage entier d'un corps d'armée d'en suivre les mouvemens, on le divise en deux parties : *voitures des batteries* qui accompagnent leurs divisions respectives, et *voitures des grands parcs* qui sont seulement les mouvemens généraux du corps auquel elles sont attachées.

Il faut distinguer aussi dans les voitures des batteries, celles qui entrent en ligne lors des batailles, et celles qu'on tient hors de portée des projectiles ennemis. Les premières comprennent seulement les *affûts* chargés de leurs pièces, et les *caissons* dans lesquels sont portées les munitions de ces bouches à feu. L'ensemble des secondes forme ce qu'on appelle la *réserve*.

Ainsi, l'affût et le caisson sont les élémens les plus importants d'un équipage de campagne, et à ce titre, ils doivent être examinés les premiers : les voitures des réserves et celles des grands parcs leur sont entièrement subordonnées.

VOITURES DES BATTERIES.

224. Bien que le caisson soit destiné au transport des munitions, l'affût doit en recevoir une certaine partie, pour suffire aux circonstances soit d'attaque, soit de défense, qui n'occasionnent pas une grande consommation et dans lesquelles une voiture de plus serait au moins inutile.

Le chargement du caisson n'est pas non plus formé uniquement d'une seule espèce de choses ; il comprend, outre les munitions, les rechanges dont on peut avoir besoin sur un champ de bataille. On sent en effet combien il importe de pouvoir remédier tout de suite à celles des dégradations causées par le feu de l'ennemi ou par les accidens de la marche, qui, mettant les voitures momentanément hors de service, n'affectent néanmoins que des parties faciles à remplacer, comme les roues et le timon. C'est donc une roue et un timon de rechange qu'il faut faire porter à chaque caisson, en sus des munitions. On y ajoute même une pioche et une pelle, parce que ces outils sont quelquefois nécessaires pour la destruction des obstacles que les chevaux ne peuvent franchir.

225. Ce n'est pas assez de connaître les chargemens, pour établir les conditions de la composition ; il faut encore considérer toutes les autres circonstances du service. Or, l'artillerie de

campagne agissant avec l'infanterie et la cavalerie, doit avoir dans les marches une vitesse égale à celle des divisions dont elle fait partie, et suivre tous les mouvemens des troupes sur le champ de bataille; souvent même il faut qu'elle les devance: alors les autres armes ne font qu'achever une défaite préparée par ses coups. L'armée éprouve-t-elle sur un point une résistance inattendue, les batteries doivent pouvoir s'y porter rapidement. Veut-on frapper un coup décisif, on réunit en toute hâte plusieurs divisions d'artillerie et l'on en forme une batterie formidable.

Une extrême mobilité est donc nécessaire à l'artillerie de campagne, et comme le temps qu'économise cette qualité, serait perdu, si les actes qui précèdent ou suivent les mouvemens, étaient lents, il faut que les préparatifs de l'action puissent se faire avec promptitude, que le tir s'exécute avec toute la vivacité permise par la justesse du pointement, et que la batterie soit, pour ainsi dire, toujours prête à changer de position.

226. Trois choses rendent une voiture très-mobile: une facile traction, un tournant fort court et la faculté de franchir tous les obstacles qui n'arrêtent point les chevaux. Elles doivent être communes à l'affût et au caisson qui sont presque inséparables, tant leur concours est nécessaire aux effets exigés de l'artillerie.

La première dépend du poids total à transporter et des moyens plus ou moins favorables que le moteur trouve dans la composition, pour imprimer et maintenir toute la vitesse dont il est capable. Le poids est réglé pour l'affût, par le calibre à employer, et celui du caisson s'ensuit, car les deux doivent être évidemment à-peu-près égaux.

Nous savons comment l'on rend une voiture propre à tourner très-court (121).

Enfin, la faculté de franchir les obstacles suppose l'indépendance complète des deux trains, et cette indépendance exige que celui de derrière soit accroché à celui de devant, de manière à toucher seulement la cheville-ouvrière, qui dans ce cas doit offrir à la fois un point d'appui, un moyen de traction et un axe de rotation (103).

Voici donc les conditions de l'extrême mobilité dont ont besoin l'affût de campagne et son caisson.

1° Le poids total de la voiture chargée doit être un minimum relativement aux effets à produire.

2° L'arrière-train doit s'unir à l'avant-train au moyen d'un simple crochet cheville-ouvrière et n'avoir aucun autre contact.

3° Le mode d'attelage doit permettre aux chevaux d'imprimer et de soutenir la plus grande vitesse dont ils sont capables.

4° La composition et le tracé d'ensemble doivent satisfaire en outre, autant qu'il est possible, à toutes les conditions d'un tirage facile et d'une grande stabilité (197).

Nous devons maintenant faire des trois autres principes généraux (225), une analyse analogue à celle qui vient d'avoir lieu pour le premier; mais il faut à cet effet considérer séparément l'affût et le caisson.

AFFÛTS DE CAMPAGNE.

227. Les deux trains d'un affût sont séparés, lorsque la bouche à feu est en batterie, et les six servans qui concourent à son exécution, sont placés, trois sur le côté droit, trois sur le côté gauche. Pendant le tir, le premier servant de droite est muni de l'écouvillon, dont il trempe la brosse dans un seau d'eau, quand la pièce a besoin d'être rafraîchie, et durant le pointage, le *pointeur-servant* dirige l'affût, à l'aide d'un levier au moins, qui d'avance a été appliqué aux crosses.

Réduite à sa plus grande simplicité, la mise en batterie se compose donc de trois mouvemens : séparer les trains, détacher l'écouvillon, enlever le levier de pointage et l'appliquer aux crosses. Pour que ces trois mouvemens s'opèrent dans un temps très-court, ils doivent être faciles et simultanés. Mais, comme les armemens ont besoin d'être assujettis vers chacune de leurs extrémités, deux servans sont nécessaires pour détacher l'écouvillon, deux autres peuvent être employés à enlever et placer le levier, et il n'en reste que deux pour ôter l'avant-train.

228. Il faudra donc observer ce qui suit, dans la composition de l'affût de campagne.

1° Placer les armemens le long des flasques, l'écouvillon à droite et le levier à gauche; accrocher le seau dans une position telle qu'il se trouve à portée du premier servant de droite pendant le tir; fixer tous ces objets par des moyens simples qui les retiennent malgré les cahots qu'éprouve la voiture, lorsqu'elle parcourt rapidement des chemins raboteux; donner aux pièces

qui fixeront ainsi les armemens, une forme et un emplacement tels qu'elles ne puissent pas être détériorées, lorsqu'on engèbera les voitures dans les magasins ; ménager l'emplacement d'un écouvillon de rechange, d'un deuxième levier nécessaire aux manœuvres de force, et du tire-bourre qu'on emploie parfois pour décharger la bouche à feu.

2° Pratiquer un seul encastrement pour chaque tourillon, et placer sur l'avant-train le coffre à munitions que doit porter l'affût ; ce coffre et la pièce auront ainsi les mêmes positions pendant les marches et pendant le tir, arrangement très-propre à rendre simple et prompte la mise en batterie.

3° Pour que deux servans suffisent à la séparation des trains et l'opèrent rapidement, adapter à la queue de l'affût et de chaque côté, une poignée facile à saisir ; placer le centre de gravité du système, de telle façon que les crosses puissent être aisément soulevées par deux hommes ; donner peu d'élévation à l'articulation des trains ; disposer cette articulation de manière à rendre la lunette et la cheville-ouvrière toujours visibles, et à permettre aux servans de prendre la position la plus favorable au déploiement de leurs forces.

229. Il est facile de voir ce qu'il convient de faire pour donner de la vivacité au tir.

1° L'élévation de la pièce au-dessus du sol, devra permettre de charger avec aisance.

2° L'affût portera un appareil simple et solide, au moyen duquel le servant qui bouche la lumière, puisse en même temps faire mouvoir l'axe de la pièce dans le plan vertical, pour donner l'inclinaison voulue.

3° Le recul n'aura pas une grande étendue, afin qu'on perde peu de temps à ramener la bouche à feu en batterie.

4° Le levier de pointage pourra s'appliquer aux crosses avec facilité et se retirer de même.

Voici les raisons qui rendent indispensable l'application d'un levier aux crosses. Le plan de symétrie de l'affût doit contenir constamment l'axe de la pièce ; autrement, cet affût résisterait moins bien aux effets du tir. C'est donc seulement en faisant pivoter tout le système sur les roues, qu'on peut diriger la ligne de mire vers le but. D'un autre côté, il est fort important de

n'exposer au feu de l'ennemi, que le nombre d'hommes strictement nécessaire à l'exécution de la bouche à feu, et par suite, un seul servant doit pouvoir tourner l'affût. Or, l'effort qu'il est obligé d'exercer, dépend de la nature du terrain, du poids des crosses, et de la distance du point d'application de ses mains à l'axe de l'essieu; il est donc nécessaire de rendre grande cette distance, et c'est à quoi sert le levier de pointage, qui, on le sent bien, doit être enlevé, dès qu'il s'agit de remettre l'affût sur l'avant-train.

250. Touchant le quatrième principe général (225), nous dirons qu'on dispose les pièces à un changement de position, en exécutant des mouvemens inverses de ceux qui constituent la mise en batterie. Les conditions précédemment établies suffisent donc pour assurer une grande promptitude à la première manœuvre.

Observons cependant qu'il est beaucoup plus long d'opérer la réunion des trains que leur séparation. En effet, pour le premier cas, il faut faire reculer l'avant-train et l'amener près de la pièce, dans une position telle que les axes des deux parties de la voiture se trouvent à-peu-près sur le même plan vertical; or, ce mouvement est parfois très-difficile à exécuter dans les terres labourées, surtout quand elles ont été détrempées par la pluie; la difficulté est encore augmentée par la frayeur que le feu de l'ennemi cause aux chevaux.

On est alors obligé d'agir sur l'affût, pour l'amener lui-même dans une position convenable. Les retards qui en résultent peuvent n'avoir aucun effet funeste, lorsque la batterie doit faire un mouvement offensif; mais en cas de retraite, surtout s'il faut se soustraire à une charge de cavalerie, on peut se trouver forcé ou de cesser le feu trop tôt, ce qui compromet le succès du combat, ou de quitter la position avec les avant-trains seulement, et de laisser les pièces au pouvoir de l'ennemi.

Le temps qu'on perd pour mettre en batterie et pour se disposer à changer de position, devient plus précieux encore, lorsque l'artillerie est chargée de soutenir une retraite générale, parce qu'alors elle doit pouvoir faire feu sans retarder la marche. L'emploi d'une *prolongé*, qui lie constamment l'affût à l'avant-train, donne le moyen de se tirer des circonstances difficiles

qui viennent d'être indiquées, et cela seul rend indispensable la conservation de ce cordage dans le matériel de campagne. Mais, comme un tel mode d'union oblige à laisser les crosses glisser sur le sol, et qu'une très-grande résistance en résulte, surtout dans les terres labourées, il convient de restreindre l'usage de la prolonge au très-petit nombre de cas où la marche et le feu en retraite doivent être précipités, car il importe beaucoup de ménager les attelages.

Ainsi, le constructeur devra porter son attention particulièrement sur l'acte de la réunion des trains, à l'effet de le rendre aussi facile et aussi prompt qu'il sera possible. Quant à l'emplacement de la prolonge dans le transport, il dépend du mode employé pour approvisionner les pièces : si ce mode est tel que l'affût ne change jamais d'avant-train, le cordage peut être porté par l'un ou l'autre indifféremment ; mais si l'avant-train doit permuter avec celui du caisson, il paraît convenable de faire porter la prolonge par l'affût.

231. Le tir des pièces de campagne fournit encore deux autres principes généraux, pour la composition et le tracé d'ensemble des affûts.

1° Malgré la légèreté dont ils ont besoin, leur solidité doit être telle qu'ils puissent supporter long-temps, sans dégradations graves, les percussions causées par l'explosion (158).

2° Ils doivent permettre de faire feu sous tous les angles qui répondent aux portées pour lesquelles le tir a de la juteuse, et rendre impossible toute autre position de l'axe de la pièce.

Si l'on négligeait de limiter les inclinaisons, il arriverait souvent que les chefs de batterie, contraints d'obéir aux ordres d'officiers étrangers à l'artillerie, feraient consommer inutilement des munitions et ruineraient promptement les affûts.

CAISSONS A MUNITIONS.

232. Puisque les conditions relatives à la mobilité sont communes à l'affût et au caisson (226), ces deux voitures doivent être composées dans le même système, et par conséquent, recevoir le même avant-train ; c'est aussi ce que veut le principe qui régit l'ensemble des constructions (198) ; mais il exige de

plus qu'un seul modèle de caisson puisse être rendu propre aux munitions de toutes les bouches à feu de campagne, moyennant quelques modifications simples et faciles dans les divisions de l'intérieur. Le corps de voiture sera donc le même dans tous les caissons, et comme il faut toujours tendre à simplifier le matériel, on placera sur l'arrière-train deux coffres pareils à celui de l'avant-train. Cette composition facilite d'ailleurs l'engrèment des parties des voitures, soit dans les magasins, soit dans les vaisseaux qui transportent de l'artillerie, et divisant les munitions du caisson en trois parties égales, elle met à même d'établir aisément le rapport $\frac{2}{3}$ qu'il convient de donner aux pressions totales des deux essieux (93).

Quant à la forme des coffres, elle doit permettre de transporter au besoin les servans de la pièce sur les deux avant-trains et sur l'arrière-train du caisson; c'est le moyen d'élever au plus haut degré la mobilité des batteries de l'artillerie à pied.

Si donc nous ajoutons que la vivacité du feu oblige d'employer des charges toutes faites, il sera facile de déduire toutes les conditions particulières à remplir en composant le caisson.

1° Il lui faut le même avant-train qu'à l'affût.

2° Son arrière-train aura deux coffres qui conviendront à toutes les sortes de munitions, seront pareils à celui de l'avant-train, et formeront des sièges pour les servans.

3° Il est de la dernière importance que les munitions soient parfaitement préservées de l'humidité, que les cahots les plus violens ne puissent les enflammer, et que la poudre n'éprouve aucune sorte d'avaries.

4° Les munitions doivent pouvoir être retirées des coffres avec facilité, par l'artificier chargé de leur distribution.

5° La fermeture de la voiture rendra impossible le vol de la poudre.

6° Le transport des rechanges se fera de manière à n'occasionner ni embarras, ni accidens.

233. La roue de rechange exige une attention particulière : elle a besoin d'un emplacement où elle ne puisse nuire ni à la mobilité, ni à la solidité, ni à l'approvisionnement de la batterie. Ainsi, elle devra ne limiter aucun des mouvemens de la voiture, n'empêcher nullement de prendre les munitions dans les coffres,

se trouver retenue de manière à ne jamais tomber, même dans les terrains les plus accidentés; enfin, être à l'abri des chocs capables de causer des fractures dans le système (106).

234. Nous terminerons cet article par quelques considérations sur la manière d'approvisionner les bouches à feu pendant l'action.

D'après les préceptes de *Gribeauval*, on ne peut faire usage des munitions du coffret, que dans les cas d'une extrême nécessité; les pièces doivent être approvisionnées au moyen de caissons placés en ligne derrière elles. Or, la batterie ainsi disposée, présente aux coups de l'ennemi un grand nombre d'hommes, de chevaux et de voitures. Il serait donc très-important que rien n'empêchât de tenir les caissons à une distance des pièces, assez grande, pour qu'on pût les masquer par quelque pli de terrain, ou tout au moins les placer de façon à laisser peu de prise au feu de l'ennemi. Cette nouvelle position de la seconde ligne des batteries présenterait encore un autre grand avantage: les mouvemens des bouches à feu deviendraient plus libres et pourraient être plus rapides. Reste à voir s'il est possible d'adopter une disposition qui aurait de telles conséquences.

Chaque pièce portant le quart de ses munitions, pourrait engager l'action avec ce premier approvisionnement; quand il serait sur le point d'être épuisé, l'avant-train du caisson arriverait en batterie, et fournirait les munitions nécessaires au feu, pendant tout le temps dont l'avant-train de la pièce aurait besoin pour aller chercher un nouvel approvisionnement à la seconde ligne; dès que l'avant-train du caisson serait vide, il retournerait au chargement, et cette manœuvre se continuerait jusqu'à ce que les munitions fussent toutes consommées.

Ainsi, pour soustraire les caissons au feu de l'ennemi, et rendre plus libres les mouvemens des pièces, il faut et il suffit:

1° Que l'avant-train commun porte autant de munitions qu'on en peut consommer pendant tout le temps présumé nécessaire pour aller chercher un nouvel approvisionnement à la seconde ligne.

2° Que la séparation et la réunion des deux trains du caisson puissent s'opérer très-facilement.

A la vérité, la dernière de ces conditions en fait naître d'autres;

mais il est aisé de les déduire de celles qui ont été établies pour l'affût (228).

Quant au temps qu'exigera la permutation des avant-trains, il dépend de la manière dont s'effectuera leur chargement, et de l'intervalle des deux lignes de la batterie. Le chargement serait fort long, s'il fallait prendre dans le caisson les charges une à une, pour les placer dans le coffre de l'avant-train; car, après avoir *désétoupé*, on aurait à étonper de nouveau, ignorant si les munitions de l'avant-train seront entièrement consommées sur le lieu même de l'action. Un autre mode est donc nécessaire : il faut que le changement des coffres soit facile, sans le rapport du poids, et sans celui des moyens employés pour les maintenir dans une position fixe; on bien les munitions doivent être placées, soit dans des caisses, soit dans des sacs qu'on puisse faire passer aisément de l'un des coffres du caisson dans celui de l'avant-train.

Mais, nous devons le reconnaître, l'approvisionnement des pièces de campagne, exécuté comme il vient d'être dit, a un inconvénient assez grave pour qu'on ne puisse l'employer dans toutes les circonstances de la guerre : la batterie se trouve en effet hors d'état d'exécuter aucun mouvement, pendant les voyages des avant-trains.

VOITURES DE LA RÉSERVE.

255. Pour compléter l'étude des voitures de batterie, il nous reste à parler de celles qu'on tient toujours en réserve dans un lieu où les projectiles ennemis ne puissent les atteindre. Elles portent les cartouches destinées aux armes de main, les approvisionnements, les rechanges qu'on ne pourrait utiliser sur un champ de bataille, et tout ce qui est nécessaire, soit aux réparations du matériel, soit à l'entretien des attelages.

Les cartonches de l'infanterie et de la cavalerie forment des paquets faciles à placer dans les coffres du caisson à munitions. Leur transport n'exige donc pas une voiture particulière. Mais il n'en est point de même pour les approvisionnements et les rechanges : la capacité des coffres ne saurait leur suffire. On nomme *chariot de batterie*, la voiture qui les porte; *Gribeauval* l'appelait *chariot à munitions*.

Le principal des objets employés pour les réparations et le ferrage, c'est la *forge*; elle donne son nom à la voiture sur laquelle on l'établit. Cette voiture contient d'ailleurs du charbon de terre, des outils de forgeron et de serrurier, des ferrures confectionnées et des barres de fer de divers numéros.

Le chariot de batterie et la forge n'ont pas à suivre tous les mouvemens des troupes, comme l'affût et le caisson. Cependant il leur faut une grande mobilité, car devant se tenir constamment à proximité des batteries, elles prennent part aux principaux changemens de position; il importe même, dans certains cas, qu'elles puissent rejoindre rapidement les autres voitures, malgré les difficultés du terrain. Ces considérations, jointes à celle de la diminution des rechanges, conduisent à construire le chariot de batterie et la forge dans le système adopté pour l'affût et le caisson: on n'aura ainsi qu'un seul modèle d'avant-train pour les quatre voitures des batteries, et l'arrière-train des deux premières présentera la même composition générale que celui de la dernière.

Le tracé d'ensemble devra, bien entendu, satisfaire aux conditions générales (197); la forme et les dimensions du corps de voiture seront réglées d'après la nature et les dimensions des objets à transporter; enfin, on emploiera des roues de même modèle que celles de l'affût et du caisson, parce que, si elles n'ont pas la hauteur la plus favorable au roulage, d'un autre côté leur adoption simplifie le matériel des batteries, en diminuant les rechanges.

Mais la forge a de plus une condition particulière à remplir: la disposition de ses diverses parties doit être favorable à l'usage de la machine qu'elle porte.

VOITURES DES GRANDS PARCS.

236. Les grands parcs, transportent des munitions confectionnées, des barils de poudre, des caisses d'outils, des caisses d'armes, des pièces de rechange de toute espèce, ou les bois et les métaux propres à la confection de ces pièces. On y emploie le caisson à munitions et le chariot, pour les objets dont ces voitures sont chargées dans les batteries; mais pour ceux qui exigent un plus grand emplacement, une voiture particulière

devient nécessaire : elle est nommée *chariot de parc* et commune à l'équipage de siège (209) ; c'est de celle-là seulement que nous avons à dire quelques mots.

La longueur dont le fond du chariot de parc a besoin, ne permet pas de le construire dans le système des voitures de batterie, qui laisse entre les essieux un espace inutile pour le chargement : on est obligé de renoncer au simple accrochement d'une flèche derrière le premier essieu, et de recourir à l'usage de deux brancards prolongés au-dessus de l'avant-train, malgré la complication qui en résulte pour l'équipage de campagne. Heureusement, la nature des chemins que parcourent les grands parcs, permet le sacrifice d'une partie de la mobilité : ils suivent habituellement les routes, et s'ils les quittent, ce n'est jamais pour passer sur des terrains fortement accidentés.

Du reste, les conditions générales (197) sont applicables au chariot de parc, et afin de compliquer le matériel le moins qu'il est possible, on donne à cette voiture, l'essieu, les roues de derrière et le mode d'attelage des caissons.

SECTION SIXIÈME.

ARTILLERIE DE MONTAGNE.

237. Le matériel de l'artillerie de montagne est en quelque sorte un appendice de l'équipage de campagne, car son emploi commence précisément quand le terrain n'est plus accessible aux voitures. Il n'existait pas dans l'ancien système d'artillerie ; mais, nécessaire pour seconder les opérations d'un corps d'armée dans une contrée montagnaise, il a dû être enfin créé. C'est surtout d'une grande légèreté qu'il a besoin, puisqu'on est obligé de le transporter sur des bêtes de somme. Le mulet est préféré au cheval, pour ce service, parce que, avec autant de force, il a le pied beaucoup plus sûr, avantage d'une grande importance dans des terrains à pentes raides.

Les bouches à feu employées pour la guerre de montagne, sont des obusiers de 12. L'affût n'a pas besoin d'avant-train ; mais une limonière l'accompagne, pour qu'au besoin on puisse l'y adapter et former une voiture à deux roues. Ce même affût doit être très-léger, et pourtant avoir peu de recul, car les pièces se

trouvent souvent sur des emplacements très-resserrés, ou sur des pentes ascendantes selon la direction du tir. Il faut donc faire usage d'essieux en bois (161).

Les munitions sont portées dans des caisses; il en est de même de la forge dont la batterie ne saurait se passer; elle se divise en deux parties, et son poids total n'excède pas celui qui peut être placé sur un mulet.

L'affût et ses roues, l'obusier et la limonière, les armemens et deux caisses à munitions composent les charges de trois autres mulets. C'est sur un *bât*, partie essentielle du matériel de montagne, que ces objets sont fixés. Il a besoin d'une grande solidité; sa forme, appropriée à la nature du chargement, doit laisser à l'animal toute liberté de se mouvoir; son poids est réglé de manière à produire un fardeau total qui convienne aux mulets les plus faibles.

SECTION SEPTIÈME.

ÉQUIPAGE DE PONT.

258. Les services qui font le sujet des six sections précédentes, ne sont pas les seuls dont le corps de l'artillerie soit chargé; l'établissement des ponts mobiles lui est aussi exclusivement réservé, et cette partie de ses attributions, bien différente des autres, n'est pas moins importante. Il ne s'agit plus effectivement de porter le désordre dans les rangs ennemis, en y lançant des projectiles; il faut faciliter à l'armée le passage du plus grand obstacle qui puisse s'opposer à sa marche, celui d'un fleuve ou d'une rivière.

Pour être toujours prête à remplir une si haute mission, l'artillerie transporte en campagne tous les objets que nécessite l'établissement des ponts mobiles. Ces ponts consistent, comme on sait, en tabliers portés par des bateaux. Le tablier est formé de poutrelles recouvertes de madriers juxta posés. Les bateaux s'amarrent les uns aux autres, et de plus, afin d'empêcher le pont d'être emporté par le courant, on en maintient quelques parties au moyen de cordages fixés à des ancrs. Le jet de ces ancrs et plusieurs autres opérations exigent l'emploi de nacelles.

De toutes les choses qui viennent d'être énumérées, les cordages

et les madriers sont les seules qu'on transporte dans les voitures de l'équipage de campagne ; les autres, c'est-à-dire les bateaux, les nacelles, les poutrelles et les ancres, ont une voiture spéciale : elle est appelée *haquet à bateau*. Celle-là doit seule nous occuper, car elle n'est accompagnée que de chariots de parc et de forges. On charge sur les chariots, les cordages, les madriers, les engins, les approvisionnemens, les outils à pionniers, les outils d'ouvriers en bois et les rechanges de toute espèce.

259. Les conditions auxquelles il faut satisfaire dans la composition du haquet à bateau, dépendent de son chargement et du degré de mobilité nécessaire à l'équipage de pont. On voit tout d'abord que cet équipage ne peut être assésint à suivre exclusivement les grandes voies de communication ; car s'il l'était, les passages de rivières ne pourraient s'effectuer qu'en des points déterminés, et l'ennemi ne manquerait pas d'y rassembler de puissans moyens de défense. Il importe au contraire de pouvoir menacer à la fois plusieurs points, afin de tenir son adversaire dans l'incertitude et de l'obliger à disséminer ses forces.

Ainsi les haquets chargés doivent avoir assez de mobilité pour parcourir tous les chemins qui aboutissent aux rivières ou les bordent, bien que la configuration du sol, sa nature et le défaut d'entretien rendent ordinairement ces chemins très-sinueux et fort difficiles.

Mais en outre, l'équipage de pont suit les mouvemens généraux de l'armée, comme les grands parcs, et il est obligé, pour servir à de nouveaux passages, de gagner la tête des colonnes, dès que le pont est levé. Le haquet a donc besoin de rouler avec autant de vitesse, pour le moins, que toutes les voitures des parcs. En conséquence, il faut le composer de manière à le faire jouer, comme celles-là, d'un roulage très-facile, d'un tournant court et du mode d'attelage le plus favorable aux chevaux. La première condition exige que le poids du haquet, joint à celui du chargement, n'excède le poids total d'aucune des voitures de campagne. Aussi a-t-on pris pour le poids maximum du haquet chargé, celui de l'affût de douze de campagne portant sa bouche à feu. Il en résulte qu'un haquet reçoit un bateau ou une nacelle, et les poutrelles d'une travée. La forme générale de cette voiture doit donc la rendre propre à ces chargemens ;

il faut d'ailleurs adopter une composition telle que le bateau puisse être chargé et déchargé en peu de temps, car le succès du passage d'une rivière ou la perte de l'équipage dépend souvent du temps qu'on emploie à jeter le pont ou à le lever.

240. Nous terminerons en énonçant les conditions générales qui régissent le tracé du bateau, partie principale d'un équipage de pont. Elles sont au nombre de quatre :

1° La capacité sera suffisante pour que les plus pesans des objets traînés à la suite d'une armée, puissent passer sur le pont sans le submerger ; car plus la charge est grande et plus elle déplace d'eau.

2° Le poids du bateau doit égaler au plus celui d'une pièce de douze de campagne.

3° Il est nécessaire pour les passages de vive force, où l'on est obligé de transporter promptement des troupes sur la rive ennemie, que le tracé du bateau permette de naviguer avec vitesse, et sans trop dériver, même quand le courant est rapide.

4° La longueur du bateau déterminant l'écartement des trains du haquet, doit être telle que la voiture ait un roulage facile (108) ; et comme le bateau s'élève entre les roues de derrière, son profil transversal sera basé sur l'écartement de ces roues dans le haut. Or l'écartement des jantes supérieures dépend du tracé de l'essieu et de celui des roues ; il importe que ces parties soient les mêmes dans le haquet et les autres voitures de l'équipage de pont. Conséquemment, la section droite du bateau devra être tracée d'après l'inclinaison des fusées et l'écnanteur adoptés pour toutes les voitures de l'équipage de campagne.

CHAPITRE TROISIÈME.

TRACÉS DE DÉTAIL.

Nous traiterons sous ce titre, du tracé des diverses pièces que la composition fait entrer dans les voitures et dont le tracé d'ensemble règle les positions. Seront exposés d'abord les principes généraux à observer pour que chaque pièce puisse résister

aux efforts qu'elle supporte ; puis viendront les tracés des assemblages et ceux des ferrures les plus importantes.

SECTION PREMIÈRE.

PRINCIPES GÉNÉRAUX.

241. Pour exécuter les tracés des différentes pièces d'une voiture, il faut connaître les dimensions de ces pièces et celles de leurs assemblages. Or ces dimensions, si on en excepte les longueurs, tiennent à la résistance des solides, et il est impossible de les déterminer par la théorie, puisque les formules connues ne conviennent qu'à un solide isolé, sont tout-à-fait inapplicables à un système de corps. D'ailleurs, en considérant même une pièce isolément, il ne suffirait pas de déduire son écartissage des formules relatives au cas où les forces agissent simplement par pression, puisque ce sont particulièrement les chocs provenant des mauvais chemins, qui occasionnent la rupture des voitures ; il faudrait employer des formules où figurassent les percussions, et les géomètres n'en ont pas encore établi de telles.

Convenons donc que le constructeur ne peut opérer que par analogie, en déduisant les dimensions dont il a besoin, des dimensions bien connues d'une voiture déjà éprouvée. Mais il ne les déduit pas par à-peu-près ; la théorie impuissante jusqu'à présent, pour les donner immédiatement, devient un guide certain, quand il s'agit de les déterminer par comparaison : c'est en appliquant les formules de la flexion des *solides semblables*, qu'on passe sûrement d'une voiture connue à celle qui est en projet. L'usage que le praticien peut faire de ses connaissances théoriques, ne se borne même pas à cela : les recherches relatives à la flexion des corps, ont indiqué les positions des sections de rupture, et l'on peut conclure de ces positions, la forme générale qu'il convient d'employer pour obtenir une pièce qui soit à-peu-près d'*égale résistance*. Or la solution de cette deuxième partie de la question est fort importante : elle constitue le tracé particulier de chaque pièce, et par elle le système se trouve dégagé d'un excès de poids qui nuirait à sa mobilité.

242. La facilité de l'exécution impose la condition de n'em-

ployer, s'il est possible, que des pièces dont les faces soient planes et dont les sections droites présentent des rectangles. Ainsi pour trouver la forme générale de chacune en particulier, il suffit de considérer la section qui doit avoir les plus fortes dimensions et celle qui a le moins d'efforts à supporter, puis de réunir les côtés correspondans par des plans.

La question du tracé est simplifiée encore par cette considération, que le solide peut toujours être supposé placé horizontalement et soumis à l'action d'une force verticale ; car l'expérience apprend qu'alors, si l'aire de la section transversale ne change point, la résistance à la rupture augmente avec la hauteur ; et par conséquent, à moins de circonstances particulières, on doit donner aux diverses parties des voitures plus de hauteur que de largeur. Le rapport théorique de ces deux dimensions a pour limite la valeur qui ne laisserait plus assez de résistance dans le sens horizontal ; mais le constructeur se tient toujours au-dessous de cette limite, surtout pour les cas où des assemblages affaibliront la pièce.

Lorsque la largeur du solide est arrêtée, on opère sur la hauteur, pour réduire convenablement la résistance des différentes sections. Il faut alors reconnaître si la réduction doit être faite dans le dessus ou dans le dessous du corps. À cet effet, on cherche de quel côté sera tournée la convexité de la courbure que prendra le solide avant de se rompre ; la réduction s'opère sur le côté opposé, pour laisser régner dans toute la longueur les fibres qui doivent s'étendre. Assez souvent toutefois, cette règle théorique est forcée de céder à des convenances de construction.

243. Si l'on façonnait à vives arêtes les différentes pièces des voitures, ces arêtes seraient promptement dégradées par les chocs nombreux qu'elles éprouveraient ; il en résulterait même des éclats qui affaibliraient beaucoup les parties dans lesquelles ils se manifesteraient. En conséquence, on ne laisse subsister aucune arête vive, à moins qu'elle ne doive être recouverte par une pièce superposée ou garantie par une pièce accolée ; quand il n'en est pas ainsi, elle est remplacée, soit par un chanfrein, soit par un arrondissement plus ou moins prononcé, suivant l'écartissage du solide. Observons pourtant que le chanfrein a encore le défaut de laisser des arêtes vives, et que l'arrondis-

assemblage doit lui être préféré, toutes les fois que la pièce est très-exposée aux chocs.

SECTION DEUXIÈME.

TRACÉS DES ASSEMBLAGES.

244. Le but qu'on se propose en assemblant des pièces de voiture, est d'en composer un système invariable et de forme déterminée. Les assemblages supposent donc pour les pièces, des positions relatives fixes; ces positions sont de trois sortes: il s'ensuit un accollement, ou un croisement, ou une pénétration.

Deux pièces de bois s'unissent par accollement, lorsqu'elles doivent en former une seule d'un très-fort écartissage. On les applique l'une contre l'autre par deux des longues faces, puis on empêche le glissement, au moyen de goujons qui pénètrent dans chacune, et l'écartement, au moyen de boulons.

Il y a croisement, quand deux pièces passent l'une au-dessous de l'autre. L'assemblage est alors à *entaille*, parce qu'on le fait en pratiquant une entaille dans une seule des pièces ou dans chacune.

La pénétration a lieu, si deux pièces doivent être unies par une troisième. Dans ce cas, l'assemblage est à *tenon et mortaise*, ou à *embrèvement*, et assez souvent il présente les deux modes à la fois, de sorte qu'on peut le dire *complexe*.

Le tenon est formé par une réduction de l'écartissage, toujours opérée à l'extrémité de la pièce qui pénètre dans l'autre. La mortaise est un vide absolument de même forme que le tenon, pratiqué dans la pièce pénétrée. Enfin l'embrèvement est une pénétration peu profonde, sans diminution d'écartissage. Il s'allie quelquefois à l'entaille.

L'assemblage à tenon et mortaise sert particulièrement pour les *épars*; on appelle ainsi toute pièce de bois qui, assemblée dans deux autres, supporte une partie du chargement de la voiture, soit immédiatement, soit par l'intermédiaire d'une troisième pièce dont elle forme l'appui.

L'embrèvement est généralement employé pour les *entretoises*, pièces de bois dont la seule fonction est de maintenir l'écartement de deux autres.

245. Le tracé d'un assemblage revient à celui de l'entaille, du tenon ou de l'embrèvement. Il doit évidemment varier avec l'intensité et la direction de la résultante des forces qui tendent à désunir les pièces; mais toujours les faces de contact sont perpendiculaires à cette direction. Il faut d'ailleurs que le tracé affaiblisse peu le bois, et que l'eau ne puisse pas pénétrer dans les joints.

Les assemblages du matériel de l'artillerie satisfont à toutes les conditions. On en jugera par les principaux que nous allons décrire succinctement.

ASSEMBLAGES DE CROISEMENT.

246. Si une pièce B qui supporte un fardeau, repose sur l'extrémité d'une pièce A en la croisant (fig. 40), il importe que l'une ne puisse glisser sur l'autre, et que l'assemblage affaiblisse très-peu la première B. On fait donc au bout de A, une entaille *abc* dont la largeur soit moindre que celle de B, afin de pouvoir embréver une partie *bcd*, et l'on consolide cet assemblage complexe au moyen d'un boulon qui traverse les deux pièces.

L'embrèvement, joint au boulon, empêche tout glissement, et ce boulon soutenant le fond *ab* de l'entaille, tandis que B presse sur *cd*, il n'est pas à craindre que A éclate en *b*; enfin, la pièce B sur laquelle agit le fardeau, conserve toute la force due à son écartissage.

Le même assemblage convient, quand sur une pièce B (fig. 41) soutenue à l'une de ses extrémités, s'appuie une pièce A comprimée par des forces normales ou peu obliques à sa face supérieure. Il conviendrait encore, si la pièce A (fig. 40) s'appuyait contre le dessous de deux pièces B parallèles et soutenues à leurs extrémités; mais alors la solidité de l'assemblage dépendrait uniquement de la résistance du boulon.

247. Lorsque le système de deux pièces croisées A, B qui ont même hauteur (fig. 42), doit s'appuyer entièrement sur un plan fixe, dans chacune se fait une entaille à mi-bois, dont la largeur égale celle de l'autre, et l'assemblage se consolide par un boulon.

Les faces inférieures sont alors dans un même plan; ainsi que les faces supérieures; les deux pièces ne peuvent glisser

l'une sur l'autre, et le boulon qui les comprime, prévient leur écartement.

Mais un pareil mode d'assemblage ne conviendrait plus, si une seule des pièces était soutenue, tandis que des efforts s'exerceraient sur l'autre pour la rompre : l'entaille de cette dernière lui ôterait une très-grande partie de sa force de résistance. Du reste, il est visible que la résistance de la pièce *A*, chargée et placée, comme dans la figure, au-dessous de la pièce *B* soutenue, serait inférieure à celle qu'offrirait *B* dans le cas où elle se trouverait chargée et *A* soutenue; car les efforts *Q*, *Q'* courbant *A*, feraient bâiller son entaille, et la demi-épaisseur de bois *ac* s'opposerait seule à cet effet; au lieu que les mêmes efforts appliqués à *B*, ne pourraient courber cette pièce qu'en rétrécissant son entaille, ce à quoi *A* s'opposerait conjointement avec la demi-épaisseur de bois *ab*.

248. La seconde des circonstances où l'assemblage précédent devient défectueux, est celle qui se présente toujours dans les voitures; mais jamais on ne se trouve astreint à mettre de niveau les faces inférieures des deux pièces. Pour obtenir alors une union solide et laisser plus de résistance à la pièce chargée *B* (fig. 43), il faut donner à l'entaille de cette pièce une profondeur *ab* d'à-peu-près le quart de la hauteur, une largeur *ad'* inférieure à celle de la pièce soutenue *A*, et ceindre cette dernière d'un *étrier en fer*, dont les branches prolongées sous *B* y soient fixées chacune par un boulon. De cette façon, *B* sera soutenue en avant et en arrière de son entaille, et si la rupture a lieu, elle se fera probablement à une certaine distance de la pièce d'appui *A*.

Dans le même cas, la pièce *A* peut devoir affleurer la face verticale et extérieure de *B* (fig. 44). Cette dernière n'est plus alors entaillée sur toute sa largeur; on donne seulement une longueur *ad* à l'entaille, afin que les joints ne se trouvent pas découverts en dehors; autrement, l'eau pluviale s'y introduirait et ferait pourrir le bois. Il faut aussi qu'une serrure particulière lie à la pièce *A*, la pièce *B* qui pourrait s'en éloigner en glissant.

249. Si la pièce *B* au lieu d'être parallèle au plan de symétrie de la voiture, s'y trouve perpendiculaire (fig. 45) et qu'elle doive affleurer l'extrémité antérieure de *A*, on incline le fond *ab* de

l'entaille, et un boulon consolide l'assemblage. Cette disposition, employée seulement dans le cas où B est tirée en avant, empêche la désunion que tendent à opérer les efforts, car le glissement nécessiterait l'allongement du boulon. Enfin, quand il importe aussi de ménager la résistance de la pièce B, l'entaille reçoit une largeur *cd* inférieure à celle de A.

ASSEMBLAGES DE PÉNÉTRATION.

250. L'embrèvement d'une entretoise B doit n'avoir qu'une faible profondeur *ab* (fig. 46); car il suffit ainsi pour empêcher tout glissement, et plus profond, il affaiblirait par trop la pièce principale A. Conséquemment, l'assemblage ordinaire des entretoises ne peut convenir à celle qui supporterait un effort Q perpendiculaire à ses longues faces verticales, étant placée vers les extrémités des deux pièces principales : la partie *bab'* ne présenterait pas un appui assez résistant.

251. Si l'entretoise B doit affleurer l'extrémité de A (fig. 47), l'embrèvement est remplacé par un tenon et une mortaise. Le tenon est pris dans le milieu de la hauteur de B, et il a pour base un trapèze dont la moindre largeur se trouve en dehors. Il est visible que cette forme rend impossible le glissement vers le bout de A; mais pour qu'un tel assemblage conserve sa solidité et que l'eau n'y pénètre pas, il faut empêcher de se déjeter les parties *aa'* de la pièce principale, qui recouvrent le tenon. On y parvient en arrondissant le coin saillant formé par les solides assemblés, en serrant les lèvres de la mortaise au moyen d'un boulon, et en recouvrant l'assemblage d'une plaque en tôle nommée *bandeau*.

252. Pour qu'un épars résiste à la charge ou à l'action d'autres forces qui tendent à le courber, il doit trouver un appui solide dans les pièces auxquelles il est lié. On lui procure cet appui en donnant au tenon une longueur suffisante, et en conservant aux pièces principales le plus de force de résistance possible dans le sens des efforts.

Le tenon formé à chaque extrémité d'un épars peut avoir trois positions différentes : il est pris au milieu de la hauteur du solide (fig. 48) ou dans la partie supérieure (fig. 49) ou dans la partie inférieure (fig. 50).

La deuxième position est favorable à la résistance de la pièce d'appui A, puisque c'est celle qui laisse la plus grande épaisseur de bois *ab* au-dessous de la mortaise. Mais d'un autre côté, elle affaiblit beaucoup l'épars B, qui nécessairement éclatera à l'angle α , quand sa courbure, convexe vers le bas, atteindra un certain degré.

La troisième position est plus avantageuse pour l'épars que la deuxième, puisqu'il ne peut plus éclater dans l'angle rentrant α ; mais elle diminue beaucoup la résistance de la pièce principale.

La première position participe évidemment aux avantages et aux inconvénients des deux autres, sans les avoir au même degré.

C'est ordinairement la troisième position qu'on donne au tenon d'un épars; mais en même temps on a soin de pratiquer la mortaise aussi hant qu'il est possible, afin de ménager le brancard. La rigidité de la première pièce est même augmentée par un faible embrèvement *cd* (fig. 51).

Il existe un moyen d'accroître la résistance d'un épars, sans changer la forme de l'assemblage, ni les dimensions du tenon et de l'embrèvement, ni par conséquent celles de la pièce principale. Ce moyen consiste à donner plus de hantenn au solide, en plaçant l'augmentation au-dessous du tenon (fig. 52).

Si l'épars doit être placé vers l'extrémité antérieure du brancard, on diminue la largeur du tenon, en opérant sur le devant (fig. 53), et l'on forme en trapèzes les deux faces horizontales de l'embrèvement. Cette modification de l'assemblage précédent a pour objet de laisser une résistance suffisante à la tête de la pièce principale A, tout en conservant à l'union le plus de solidité qu'il est possible.

Enfin, lorsqu'un épars doit supporter de très-grands efforts, soit de la part du chargement, soit de celle de la traction, il a besoin d'une forte résistance et d'un assemblage très-solide. Aussi multiplie-t-on les faces de contact : l'épars B pénètre dans le brancard A (fig. 54) par un double tenon et un embrèvement qui ne s'étend pas jusqu'à la face inférieure. La pièce principale perd alors ainsi peu de sa résistance que le permettent la hauteur nécessaire à l'épars et la solidité requise pour l'assemblage.

253. On augmente d'autant plus la résistance des épars, qu'on s'oppose davantage à leur flexion, et comme ils ne peuvent se courber sans que leurs tenons glissent dans les mortaises, il faudrait qu'on pût empêcher tout glissement. Dans la vue d'y parvenir, *Gribeauval* implantait une cheville de bois qui traversait le tenon et la pièce principale. Mais ce moyen employé avec succès pour les charpentes, a été reconnu défectueux pour les voitures. Le bout du tenon nécessairement très-faible, cédait effectivement bientôt à la réaction continuelle de la cheville, et l'assemblage perdait une grande partie de sa solidité.

254. Le glissement des épars et des entretoises dans leurs mortaises, auquel s'oppose seul le frottement dû à une bonne exécution de l'assemblage, rend ces pièces insuffisantes pour unir les brancards d'une voiture : elles préviennent bien tout rapprochement, mais elles ne sauraient empêcher l'écartement. On remédie à ce défaut par des boulons d'assemblage, qui traversant les deux pièces principales, les maintiennent serrées contre les autres. Ces boulons ne sont toutefois employés que dans le cas où aucune partie du système ne peut produire leur effet : ils deviennent inutiles, si l'une des pièces en bois ou en fer que la composition donne à la voiture, se trouve solidement unie aux deux brancards par des boulons.

Du reste, il suffira d'étudier avec un peu de soin, le portecorps et le caisson du nouveau matériel, si l'on veut connaître tout le parti à tirer de la combinaison des pièces en fer et en bois, et du tracé des assemblages, pour obtenir un système d'une grande solidité sans être très-massif.

ASSEMBLAGES DES RAIS.

255. Les assemblages d'un rais avec le moyeu et une jante sont à tenon et mortaise. Il doivent maintenir les pièces toujours parfaitement en contact, afin que l'eau pluviale ou celle des ornières ne puisse s'introduire dans les joints ; car la patte et la broche ont de faibles dimensions, pour ménager les pièces qu'elles pénètrent, et l'humidité les rendrait bientôt incapables de résister aux forces qui tendent sans cesse à les rompre.

Le tenon appelé patte a moins d'épaisseur que le corps du rais. De là résultent deux épaulements ab , $a'b'$ (fig. 36) destinés à

s'appuyer sur le bouge : ils diminuent les effets des chocs et empêchent l'eau de s'insinuer dans l'assemblage.

L'épaisseur de la patte est constante d'un bout à l'autre ; mais la largeur varie : elle égale celle du corps à l'épaulement où sa résistance doit être la plus grande, et diminue ensuite jusqu'à l'autre extrémité. Le débardement se fait par derrière, afin que la mortaise affaiblisse moins le gros bout du moyeu, qui supporte tout l'effort des rais. La patte est donc un prisme trapézoïdal. Cette forme facilite l'introduction du tenon dans la mortaise, et pour y aider davantage encore, on abat les arêtes vives de la plus petite des faces.

La patte a besoin d'être très-fortement comprimée dans le moyeu. Aussi son épaisseur surpasse-t-elle de $0^m,004$ à $0^m,006$ la largeur de la mortaise. On tient même la largeur de ce tenon, plus grande de $0^m,002$ à $0^m,003$ que la longueur du logement ; mais il faut s'arrêter là, pour ne pas s'exposer à détacher une partie du bouge. Ainsi, l'implantation des rais ne peut se faire qu'à coups de masse, frappés sur les têtes ; par conséquent, elle doit précéder la formation des broches et ne commencer qu'après l'application des cordons en fer du moyeu.

Le tracé n'était pas tout-à-fait le même dans les roues de *Gribeauval* ; l'épaisseur de la patte se trouvait moindre près de l'épaulement qu'à l'autre extrémité. On supposait que les fibres des bords de la mortaise, fortement comprimées par le passage de la partie la plus épaisse du tenon, reprenaient après leurs positions premières, en vertu de l'élasticité, et qu'alors la forme seule de la patte suffisait pour l'empêcher de se dégager. Mais l'usage montra le peu d'accord de ces hypothèses et des faits : l'assemblage fut trouvé réellement moins solide que celui où l'épaisseur est constante.

256. La broche est aussi un prisme trapézoïdal ; ses trapèzes et ses rectangles correspondent même à ceux de la patte, ce qui fait que les bases du prisme sont placées dans le sens de l'essieu, et les grandes faces latérales, dans le sens de la longueur des jantes. La largeur de ces deux rectangles égale l'épaisseur du rais (170) ; mais la grande base de chaque trapèze est moindre que la largeur du corps, afin qu'il y ait au moins par derrière un épaulement qui permette à ce corps de résister plus fortement

à la charge, en s'appuyant sur la jante. Un autre épaulement se trouve sur le devant dans les nouvelles roues, et met l'assemblage en état de mieux résister aux chocs latéraux : il laisse encore assez d'épaisseur à la broche, en raison de la jargneur que donne à cette extrémité du corps, le nouveau tracé des jantes.

Enfin, le devant des broches est parallèle à la face interne de l'anneau de la roue, pour qu'il le soit à-peu-près au fil du bois, et leurs dimensions n'excèdent pas celles des mortaises, comme dans l'assemblage des pattes, parce que les rais n'ont pas besoin d'être fortement serrés par les jantes. Il faudrait, en effet, qu'ils vinssent à jouer dans les mortaises du moyeu, pour que l'assemblage des broches se dérangerait ; car l'anneau d'une roue ferrée est complètement rigide, surtout quand il se trouve ceint d'un cercle entier (180).

ASSEMBLAGE DES ESSIEUX DE FER.

257. Un essieu en fer s'assemble avec le train dont il fait partie, au moyen d'entailles nommées *encastremens* et pratiquées dans les brancards ou dans les pièces analogues. On lui laisse toujours une saillie de 0^m,005 à 0^m,006. au-dessous des bords de ces entailles, pour qu'il y soit fortement serré par les ferrures, c'est-à-dire par les bandes de fer qui le soutiennent et que des boulons fixent aux pièces en bois. Ses talons, encastres aussi, empêchent tout-à-fait le glissement dans le sens de la longueur (183).

Lorsque la composition du train comporte un corps d'essieu en bois, le corps de l'essieu en fer y est encasté dans toute sa longueur et serré vers chacune de ses extrémités, par un étrier dont les branches sont fixées sous les brancards ou sous les pièces analogues, au moyen de boulons (248).

SECTION TROISIÈME.

TRACÉS DES FERRURES.

258. Les ferrures d'une voiture ou d'un affût sont de quatre espèces : *ferrures* proprement dites, *boulons*, *clous* et *vis à bois*. Toutes concourent à la solidité et à la conservation du système,

Voici les diverses fonctions qu'ont à remplir les ferrures : renforcer les parties en bois ; en maintenir l'écartement ou la superposition ; contribuer à la solidité des assemblages ; comprimer les fibres du bois aux extrémités des pièces , pour les empêcher d'éclater ; recouvrir les parties qu'usurait le frottement ou que dégraderaient des chocs souvent répétés ; fixer , pendant les marches , les objets d'armement , d'approvisionnement ou de rechange , qu'ont à transporter les voitures en sus de leur chargement principal ; enfin , fournir des points d'attache aux traits , et lier l'un à l'autre les deux trains d'une voiture à quatre roues.

Bien loin de prodiguer les ferrures dans le matériel de l'artillerie , on doit en être économe ; car elles élèvent les frais de construction , soit par le prix de leur matière , soit par celui de leur façon ; elles compliquent le travail , et augmentant le poids des voitures , elles les rendent moins mobiles. Il faut donc ne jamais négliger de faire remplir plusieurs fonctions , par une même pièce en fer , toutes les fois que la chose est possible.

La forme générale d'une ferrure est déterminée par la destination ; mais il importe d'adopter les contours les plus simples et de réduire les dimensions au strict nécessaire , pour que la fabrication soit plus facile et moins coûteuse.

Nous ne décrirons , ni ne justifierons les formes imposées aux ferrures proprement dites : ce serait sortir des limites que doit avoir notre travail. Il suffit d'ailleurs d'examiner les tracés donnés par les tables de construction , pour en reconnaître les motifs. Ce n'est pas à dire toutefois qu'il ait été facile d'établir ces tracés ; plusieurs essais ont été nécessaires pour y arriver ; mais enfin sanctionnés par l'usage , ils se justifient d'eux-mêmes.

Les ferrures destinées à fixer sur les voitures , les armemens , les pièces de rechange , les outils , et à fournir des points d'application aux efforts de traction , sont celles qui ont éprouvé le plus de changements. Il fallait effectivement que , malgré leurs oscillations continuelles et celles des pièces transportées , ces pièces ne pussent se détacher , ni se détériorer ; elles devaient aussi pouvoir être enlevées et remises en place avec beaucoup de promptitude. Or , c'est seulement après bien des tentatives

infructueuses, qu'on est enfin parvenu à remplir ces deux conditions, et surtout la première.

BOULONS.

259. Si un assemblage n'éprouvait aucun ébranlement, et qu'il n'eût à supporter que des pressions constantes, comme dans les charpentes, le frottement des faces en contact pourrait suffire, pour empêcher les pièces de se séparer. Mais ce cas est bien loin d'être celui où se trouvent les parties des voitures et des affûts; elles sont au contraire soumises, soit dans les marches, soit dans le tir, à des percussions dont les directions varient extrêmement. Aussi, tant bien tracé et exécuté que soit un assemblage, serait-il promptement détruit, si les faces en contact n'étaient fortement comprimées l'une contre l'autre.

La compression est produite au moyen de boulons et d'écrous, qui exercent leur action ordinairement sur des *rosettes*, et dans certaines circonstances, sur des bandes de fer, assez épaisses pour renforcer beaucoup les parties en bois qu'elles recouvrent.

Le boulon agit par pression, à l'aide de son écrou. Il doit être placé dans la direction de l'effort qu'on veut détruire: toute force oblique un peu grande en fausserait la tige. C'est ce qui fait prescrire d'opposer au glissement des pièces assemblées, un au moins de leurs plans de joints (245).

L'emploi des boulons à écrou permet de remettre en contact les parties en fer et en bois que la dessication a séparées, de démonter une voiture, de remplacer aisément les pièces hors de service, d'enlever celles qui gêneraient l'engrènement dans les magasins, et de lier fortement l'une à l'autre deux pièces même très-écartées.

260. Il y a trois choses à considérer dans un bonlon: la tête, la tige et le bout fileté. La tête est toujours circulaire dans le sens perpendiculaire à l'axe, parce qu'une telle forme en rend le travail plus facile, et qu'elle peut s'exécuter avec précision sur le tour, quand cela est nécessaire. Mais la coupe diamétrale varie avec la position de la tête relativement à la pièce qui la supporte, et aussi avec la matière de cette pièce.

Les différens tracés des têtes de boulon sont désignés par des lettres: A indique une tête qui doit être encastrée dans une pièce

en fer sur laquelle se fait un frottement (fig. 55). Elle est plane en dessus pour affleurer, et convexe en dessous, pour que son encastrement enlève moins de matière ; son épaisseur est toujours assez faible.

B et C (fig. 56 et 57) s'appliquent à des têtes qui doivent former saillie, la première sur une ferrure, la seconde sur une pièce en bois. Elles sont planes en dessous, pour avoir plus de points de contact, et bombées en dessus, pour être moins exposées aux dégradations ; mais la tête C est plus large et moins épaisse que l'autre.

D est le nom d'une tête qui doit être encastree dans une pièce en bois sur laquelle porte le chargement de la voiture (fig. 58). Elle est plane en dessus et en dessous, de sorte que sa coupe donne un rectangle, et que son encastrement, cylindrique aussi, se creuse très-facilement.

Enfin, E est la tête des forts boulons, qui doit s'appuyer sur une rosette (fig. 59). Son profil présente un rectangle surmonté d'un trapèze. Cette dernière figure provient d'un chanfrein qu'on fait pour abattre l'arête supérieure.

Les tracés des têtes de boulon se réduisent donc à cinq. Ce nombre suffit effectivement, car il répond, comme on vient de le voir, à tous les cas qui peuvent se présenter dans la construction d'une voiture.

261. Les tiges ont toutes le même tracé : au-dessous de la tête se trouve un tronc de pyramide à bases carrées (fig. 55), qui empêche le boulon de tourner quand on serre l'écrou, puis vient un prisme octogonal. La longueur du tronc égale le double du côté de sa grande base, et ce côté surpasse de 0^m,001 celui de la petite base.

Il suffit donc pour faire le logement d'un boulon, de creuser un trou carré peu profond, puis un trou cylindrique égal au cylindre inscrit dans le prisme, car les arêtes de ce prisme se logent d'elles-mêmes, en pénétrant dans le bois.

Les pièces comprimées par un boulon, réagissent et lui font éprouver une tension dans le sens de son axe. Le degré qu'elle se trouve avoir au moment de la rupture, mesure la *force de tension* du boulon. Cette force dépend évidemment de la section droite du prisme octogonal et non de la longueur. On l'indique

au moyen d'un numéro placé après la lettre qui désigne la tête : le n° 1 répond au plus fort diamètre, et le n° 5 au plus faible ; de sorte qu'il y a autant de degrés de force que d'espèces de têtes, et qu'on spécifie tout-à-fait un boulon en disant *boulon A n° 3, A n° 5, E n° 1*, etc.

Remarquons toutefois que les cinq numéros ne se joignent pas tous à chaque lettre : si, pour une tête quelconque, il y avait cinq degrés de force, on compterait vingt-cinq boulons différens, tandis que l'artillerie nouvelle n'en admet que dix-huit. Deux modèles particuliers, sans numéros, sont spécialement affectés l'un aux bandes de roue, l'autre au cercle, et l'assemblage des pièces en tôle de la forge nécessite un petit boulon spécial : il a le n° 6, une tige cylindrique, et sous la tête une arête vive qui l'empêche de tourner.

262. La longueur du bout fileté surpasse toujours l'épaisseur de l'écrou, attendu qu'il faut pouvoir resserrer, lorsque les pièces à comprimer ont pris du retrait. Quant à la force des filets et au nombre de ceux qui doivent se trouver engagés à la fois dans l'écrou, ces choses varient avec le numéro du boulon.

Tous les écrous n'ont pas non plus la même forme : ceux des deux premiers numéros ayant besoin d'une grande force, sont carrés ; on façonne les autres en prismes à huit faces, pour les débarrasser d'une certaine quantité de fer inutile.

Les rosettes sont rondes, afin que la fabrication en soit facile ; leur diamètre et leur épaisseur diminuent, quand le numéro du boulon s'élève.

CLOUS ET VIS A BOIS.

265. Les clous rivés, les rivets, les clous à pointe perdue, les vis à bois, les caboches et les clous d'épingle sont les moyens d'attache qu'emploie l'artillerie. Elle a six numéros de la première espèce, huit numéros de la troisième, cinq numéros de la quatrième et deux de la sixième ; en outre, un clou particulier est affecté aux bandes de roue.

Le clou rivé sert à empêcher les pièces en bois de se fendre : il comprime les fibres entre sa tête et sa contre-rivure qui est une petite rondelle, et s'oppose ainsi à l'écartement de ces fibres. Mais il n'est plus d'aucune utilité, lorsque le bois a pris du

retrait. Ce clou n'est pas employé comme moyen d'appliquage, aussi souvent dans le nouveau matériel qu'il l'était dans l'ancien : l'expérience a montré l'avantage de le remplacer par le boulon, pour les pièces dont le système est soumis à quelque effort. Il ne sert plus guère à l'appliquage, que dans le cas où le bois est tendre.

Le clou rivé a une tige cylindrique et trois espèces de têtes : une est cylindrique et s'encastre, une autre en champignon s'applique sur le bois, et la troisième en calotte sphérique, dite *tête ronde*, s'applique sur les ferrures.

264. Le rivet n'est qu'un cylindre de petit diamètre, dont la tête et la rivure se forment sur place, à coups de marteau. Il sert à unir deux pièces en fer qui doivent ne plus être séparées.

265. Le clou à pointe perdue ou clou ordinaire est un moyen d'attache très-facile et très-prompt. Il a deux espèces de tige : l'une, pyramide à base carrée, s'implante perpendiculairement à la direction des fibres, mais seulement dans les pièces d'une certaine épaisseur, car elle ferait fendre les planches ; l'autre, cylindre terminé en pointe, s'enfonce d'équerre aux fibres dans les bois minces, et parallèlement dans les autres.

Il existe trois formes différentes pour les têtes de clou. La tête en zone sphérique, petite base en dessus, s'adapte à une tige cylindrique et s'applique sur les bandes de fer minces ; la tête en zone sphérique, grande base en dessus, se donne aux tiges cylindriques et aux tiges pyramidales : dans les deux cas, la base supérieure affleure l'orifice du trou fraisé où l'on enfonce le clou ; la tête cylindrique, dite *tête plate*, surmonte la tige du clou à planche.

Le clou de bande a une tige pyramidale à base rectangulaire (179). Sa tête qui s'encastre, est un tronc de pyramide quadrangulaire renversé. La plus petite des deux dimensions de la section droite se place en travers des fibres du bois ; dans cette position, la grande ferait éclater la jante.

266. L'hélice d'une vis à bois doit avoir un pas qui permette à chaque spire d'embrasser un assez grand nombre de fibres. Il faut aussi faire le filet triangulaire, pour qu'il coupe, au lieu de refouler, et lui donner une telle saillie qu'il puisse s'engager fortement.

Les vis servent à l'appliquage sur les bois tendres, car les clous ordinaires n'y tiendraient pas ; mais comme elles-mêmes tiennent peu, quand la pièce fixée éprouve des ébranlemens, on emploie conjointement des clous rivés.

267. Ce qu'on appelle *caboche* dans l'artillerie, est tout simplement un petit coin en fer qui s'implante contre les bords des frettes et des cordons, pour les empêcher de glisser.

Enfin, les clous d'épingle servent à l'appliquage des tôles minces ; ils ne se fabriquent pas dans les arsenaux.

QUATRIÈME PARTIE.

SYSTÈMES D'ARTILLERIE.

Cette quatrième et dernière partie de notre essai sera consacrée, comme nous l'avons annoncé en commençant, à la discussion des divers *systèmes d'artillerie* qui se sont succédé, depuis l'origine de l'arme, pour ainsi dire, jusqu'à l'époque actuelle. Nous établirons succinctement les avantages et les défauts de chacun, tout en cherchant à présenter un précis historique du matériel.

Le mot *système* dans l'acception qu'on lui donne ici, signifie ensemble de faits, de principes et de conséquences. Discuter un système d'artillerie, c'est donc surtout examiner jusqu'à quel point ses principes et ses faits sont en harmonie tant avec la théorie des voitures et des affûts, qu'avec les règles de composition qu'elle fournit.

Ainsi, ce n'est pas sans raison, que cette partie de notre travail a été placée la dernière. Nous la diviserons en cinq chapitres, dans lesquels seront exposés successivement le système de *Vallière*, celui de *Gribeauval*, les modifications éprouvées par ce dernier, d'abord en l'an XI, puis de 1816 à 1824, et enfin le système de la nouvelle artillerie.

CHAPITRE PREMIER.

SYSTÈME DE VALLIÈRE.

268. Les voitures et les affûts de l'artillerie n'ont été construits d'une manière uniforme en France, qu'à partir de 1769, époque à laquelle *Gribeauval* établit ce système qui fut long-temps le plus rationnel de l'Europe et fit exercer à notre arme une si grande influence sur toutes les opérations de la guerre.

L'ordonnance de 1732, due à M. de Vallière, réglait l'espèce et le calibre des bouches à feu qu'on devait employer dans les armées de terre; elle déterminait les formes de ces bouches à feu et précisait leurs dimensions; mais elle ne parlait nullement de la construction des affûts, ni de celle des voitures.

La France était alors, pour la facilité du service, partagée en départemens d'artillerie, dans lesquels les commissaires provinciaux réglaient les constructions chacun à-peu-près selon ses connaissances particulières. Les départemens les plus renommés étaient ceux de Flandre et d'Allemagne: l'un fournissait le matériel des armées destinées à opérer dans le premier pays, l'autre approvisionnait les armées qui devaient agir dans le second. Ces deux pays étant le théâtre ordinaire de nos guerres, il est naturel que les constructions aient fait dans les départemens limitrophes plus de progrès que dans les autres.

M. de Vallière, en fixant les dimensions des nouvelles bouches à feu, avait tourné toute son attention vers la guerre de siège, dans laquelle l'artillerie avait rendu jusqu'alors le plus de services: il ne s'était nullement occupé de rechercher quels effets on pouvait avoir besoin de produire sur les champs de bataille. Aussi employa-t-on dans les batteries de campagne les plus gros calibres, ou si des calibres inférieurs y furent admis, on leur donna une âme fort longue, pour les rendre capables d'une grande portée, sans s'inquiéter de l'augmentation de poids qui devait en résulter.

L'art des constructions, comme tous les arts mécaniques, ne peut faire de progrès qu'autant qu'il a pour but constant l'augmentation des effets et l'économie des moteurs; or, le peu d'importance qu'avait alors l'artillerie, ne permettait pas qu'on sentît la nécessité de se livrer à l'étude du matériel, sous de tels rapports: souvent encore les armées combattaient à l'arme blanche; l'emploi des canons sur les champs de bataille était réduit à des batteries de position, comme dans les sièges, et par conséquent, on avait à satisfaire aux mêmes conditions, pour deux services que nous voyons aujourd'hui si différens.

Tout système de construction qui présentait de l'économie, tout mode d'attelage qui n'exigeait aucune habileté de la part des conducteurs, étaient en effet convenables pour des voitures

destinées à se mouvoir lentement et sur de beaux chemins : l'artillerie entière d'une armée formait une seule colonne, précédée de travailleurs chargés de préparer le terrain, et les pièces de quatre n'avaient pas besoin de plus de mobilité que celles du calibre de vingt-quatre. La marche d'une telle file de voitures était sans doute très-lente, et cependant elle se trouvait encore en harmonie avec la marche compassée des autres colonnes de l'armée, qui conservaient entre elles une distance rigoureuse et n'avançaient elles-mêmes qu'après avoir fait détruire les obstacles que le sol pouvait présenter.

Toutefois, les bouches à feu en batterie n'étaient plus confondues, et celles d'un calibre inférieur auraient pu avoir dans les mouvemens une très-grande supériorité sur les autres ; mais on regardait tellement l'artillerie comme une arme accessoire, qu'on ne pensait pas à lui donner de la mobilité. Les attelages étaient même laissés en arrière de la ligne d'infanterie, dans un lieu couvert, et l'on employait pour charger les pièces, à-peu-près le moyen encore en usage aujourd'hui dans nos batteries de siège : des boulets et des bouchons gisaient sur le champ de bataille ; des barils défoncés, placés en arrière de la batterie, renfermaient la poudre, et les servans allaient l'y puiser, pour l'introduire dans les pièces à l'aide de lanternes.

269. Les affûts dont les dimensions variaient avec le calibre, et un seul modèle de voiture à deux roues, appelée *charrette*, composaient principalement les équipages de siège et de campagne. Cette charrette d'une construction très-simple, convenait au transport de tous les objets, parce que ceux qui devaient être préservés des intempéries de l'air, étaient renfermés, soit dans des barils, soit dans des caisses ; en outre, son tournant très-court permettait de franchir les zig-zag des tranchées.

Les idées des officiers qui s'occupaient des constructions, étaient donc uniquement dirigées sur l'affût, seule voiture qu'il parût nécessaire de perfectionner ; mais on ne le considérait que sous le rapport du tir ; le mode d'attelage semblait invariablement fixé par celui de la charrette.

Une longue expérience fit trouver un assez bon tracé pour les affûts employés soit dans les sièges, soit dans la guerre de campagne : sous le rapport de la durée, on obtint, au moyen

de leur masse et du poids même de la pièce (149 et 150), ce qui depuis est résulté de ferrures mieux entendues et de meilleurs assemblages ; mais la résistance des flasques dans le sens vertical, était altérée en arrière des logemens des tourillons, par les encastremens des heurtoirs et des contre-heurtoirs, ferrures destinées à renforcer l'affût contre l'action de la bouche à feu ; dans d'autres parties, la résistance se trouvait affaiblie par les mortaises pratiquées pour l'assemblage des entretoises, et par le cintre du flasque dont l'angle peu ouvert rompait beaucoup trop le fil du bois.

Les armemens de la bouche à feu n'étaient pas encore portés sur l'affût ; on les plaçait dans une charrette à munitions. Enfin, la position obligée de l'encastrement des tourillons faisait supporter presque tout le poids de la pièce à l'essieu de derrière, quand l'affût se trouvait lié avec son avant-train. Mais on sentit bientôt la nécessité d'avoir, pour le transport des bouches à feu de gros calibres, une voiture particulière qui permit de répartir la charge sur les deux essieux ; elle fut appelée *chariot porte-corps*. Il paraît que cette voiture servait seulement dans les parcs de siège, car elle ne figure pas dans les équipages de campagne qui renfermaient pourtant alors des pièces de seize et même des pièces de vingt-quatre.

270. L'affût de mortier, d'abord formé d'un seul bloc de bois, destiné à reposer sur une plate-forme, avait ensuite été composé de deux flasques en bois liés par deux entretoises et deux boulons rivés. Mais plus tard, on y substitua deux flasques de fonte, unis par une masse aussi en fonte, le tout coulé d'un seul jet. Enfin, la masse en fonte fut remplacée par une masse en bois, et des boulons rivés maintinrent l'écartement des flasques. Quant à la forme de ces flasques, elle approchait assez alors de celle que nous leur voyons aujourd'hui.

D'ailleurs, on faisait usage de sus-bandes pour contenir les tourillons dans leurs encastremens, et le transport des mortiers et de leurs affûts s'effectuait sur des porte-corps.

271. L'affût qu'on employait dans les places, coûtait moitié moins que celui de siège et de campagne, bien qu'il eût la même forme : ses flasques étaient beaucoup plus courts et plus hauts ; les roues s'y trouvaient remplacées par de simples roulettes de

deux pieds au plus de diamètre ; le derrière de l'encastrement des tourillons correspondait verticalement au derrière de l'essieu , tandis qu'il correspondait au devant , dans les deux autres affûts. Mais l'axe de l'âme était élevé au-dessus du sol à-peu-près autant par l'affût de place que par celui de siège. Les bouches à feu d'un rempart tiraient donc dans des embrasures , ce qui présentait de graves inconvéniens. Quant au recul , il devait être à-peu-près le même ; car si l'affût de place avait des flasques plus courts et des roues bien moins hautes , d'un autre côté il était en totalité de près de moitié plus léger que l'affût de siège.

272. Dans les villes fortes voisines de la mer , l'artillerie faisait usage d'un affût dit *marin*. Il était porté par quatre roulettes ; le tir s'exécutait dans une embrasure et sur une plate-forme. On conçoit qu'un semblable affût devait être très-difficile à diriger , soit à droite , soit à gauche , et que la pièce ne pouvait couvrir de son feu un grand angle.

273. De tout temps , les armées ont trainé à leur suite les moyens d'effectuer les passages de rivière , et l'artillerie , embrassant dès son origine un matériel très-considérable , fut alors même chargée des équipages de pont. Ces équipages , antérieurement à *Gribeauval* , étaient composés de pontons en cuivre et de haquets qui portaient les pontons , les poutrelles , les madriers et les accessoires du pont. Le haquet avait quatre roues et des brancards ; au-dessus des brancards se trouvait une espèce de châssis sur lequel reposait le ponton renversé. On avait tellement rapproché les trains , afin de diminuer le tournant , que l'essieu de derrière se trouvait presque au milieu du corps de voiture , disposition fort désavantageuse , sous le rapport du tirage et de la solidité.

Comme les premiers pontons n'avaient pas assez de volume pour permettre le passage d'une pièce de vingt-quatre , on fut obligé d'en construire d'après un second modèle plus long et plus profond , ce qui occasionna des changemens dans le haquet : il devint à-peu-près semblable à celui que *Gribeauval* fit plus tard pour son bateau , et reçut des roues très-basses. Le haquet premier modèle pesait , tout chargé , plus de 3500 livres , et celui du deuxième modèle , plus de 4000 livres ; cependant , ces voitures

avaient encore autant de mobilité que la pièce de douze, dont le système entier pesait 5000 livres.

274. La seule condition qu'on cherchât alors à remplir dans les constructions, était celle d'un tournant très-court; aussi les roues des avant-trains avaient-elles peu de hauteur, pour qu'elles pussent passer sous le corps de voiture. Ces avant-trains étaient d'ailleurs à bras de limonière, afin que les voitures à quatre roues eussent le même mode d'attelage que la charrette. Tous les essieux étaient en bois, et les roues garnies de boites en fer. A diverses époques fut proposé l'emploi d'essieux en fer et de boites en bronze, dans la vue de faciliter le tirage; mais on le repoussa constamment, par motifs d'économie.

275. Les assemblages des affûts et des voitures étaient très-imparfaits, ainsi que les moyens employés, soit pour lier antrement les pièces de bois les unes aux autres, soit pour fixer les ferrures qui devaient les renforcer. Ces moyens consistaient en boulons, dont l'extrémité opposée à la tête était rivée, et en chevilles de fer, percées à l'une de leurs extrémités pour recevoir une clavette. Mais les boulons rivés ne maintenaient plus le système, lorsque par l'effet de la sécheresse, le bois s'était retiré, et en outre ils rendaient fort long le démontage d'une pièce, quand il fallait la remplacer, puisqu'alors on était obligé de couper la rivure, et de la former de nouveau. Les chevilles ne produisaient pas non plus l'effet désiré; car les cahots pour toutes les voitures, et la commotion du tir pour les affûts, empêchaient bientôt les clavettes de serrer autant qu'il était nécessaire.

276. Le matériel dont nous venons de donner une idée générale, put subsister tout vicieux qu'il était, tant que la plus grande partie de l'infanterie conserva la pique; mais cette arme fut remplacée par la bayonnette, aussitôt que la platine du fusil se trouva perfectionnée au point de ne plus exiger l'emploi d'une mèche, et alors l'infanterie toute entière fut rangée sur une ligne peu profonde et très-étendue, afin que chaque soldat pût faire usage de son arme. Un tel développement du front exigea une grande célérité dans les manœuvres, et l'artillerie propre à l'attaque des places, loin de rendre des services dans la guerre de campagne, ne fit plus que retarder la marche des armées et entraver leurs mouvemens sur le champ de bataille.

Le roi de Prusse, qui le premier changea l'ancienne tactique et forma ses troupes aux manœuvres rapides, fut aussi le premier à rejeter les gros calibres. Ayant réglé le diamètre des bouches à feu et leur longueur d'âme, d'après les effets à produire, il put protéger son infanterie par une artillerie nombreuse et légère. Bientôt les autrichiens suivirent son exemple. Les français qui persistèrent dans les anciennes idées, perdirent la bataille de Rosbach et eurent le dessous dans plusieurs campagnes.

De telles leçons éclairèrent enfin : *Gribeauval* qui avait étudié sur les champs de bataille l'artillerie des prussiens et des allemands, fut chargé d'établir en France un système qui répondît aux progrès récents de l'art de la guerre.

CHAPITRE DEUXIÈME.

SYSTÈME DE GRIBEAUVAL.

277. MM. de *Vallière*, père et fils, secondés de tous les officiers sous leurs ordres, formèrent une forte opposition contre la réforme de *Gribeauval*. Établi pour la première fois en 1765, le nouveau système fut remplacé par l'ancien, dès 1772. Les maréchaux de France, réunis en comité, l'approuvèrent une seconde fois dans l'année 1774; mais vers la fin de cette même année, l'autre système prévalut encore, et c'est seulement en 1776, après la mort de *Vallière* père; qu'on adopta définitivement l'artillerie de *Gribeauval*. Elle était partagée en quatre sections, destinées la première à l'attaque des places, la seconde à leur défense, la troisième au service des côtes, la quatrième à la guerre de campagne. La dernière sera examinée à son rang, et nous comprendrons les trois autres sous le titre d'*artillerie de position*.

ARTILLERIE DE POSITION.

L'artillerie de siège subit peu de changemens : elle conserva le canon de vingt-quatre, celui de seize et l'obusier de huit pouces établis par l'ordonnance de 1732; seulement, la chambre qui se trouvait au fond de l'âme des canons, fut supprimée.

On maintint aussi à fort peu-près le tracé des anciens flasques ; mais les affûts subirent des modifications qui augmentèrent leur résistance dans le tir : les doubles tenons des entretoises disparurent ; les heurtoirs et les contre-heurtoirs furent remplacés par des sous-bandes, qui, simplement appliquées sur les flasques, en augmentèrent la résistance, et rendirent plus intime l'union de la pièce et de l'affût, en s'opposant au refoulement du bois.

Toutefois, les sous-bandes recouvrirent seulement la partie des encastremens exposée aux percussions du tir, car on voulait utiliser les anciennes pièces, et leurs tourillons différaient tellement qu'un logement exact pour les uns n'eût pu convenir aux autres. Mais l'intention de *Gribeauval* était d'employer des sous-bandes complètes, dès que toutes les pièces coulées sous *Vallière* seraient hors de service.

L'avant-train garda ses bras de limonière, son mode d'attelage, tout vicieux qu'il était (32), ses roues hautes seulement de 34^{res}, et l'articulation des deux trains resta fort élevée au-dessus du premier essieu, pour que la voiture eût un grand angle de tournant (122). Mais, comme il n'y avait pas de pièce de contre-appui, il résultait de cette composition, que la pression, reportée du second essieu sur le premier, par l'effet du mouvement (87), croissait avec l'effort de traction (72) et devenait très-grande dans les mauvais chemins. Ce surcroît de pression nuisait d'autant plus à la facilité du tirage, que les roues avaient un petit rayon et que les deux essieux étaient en bois (47).

Gribeauval ne fit donc rien pour rendre plus facile le roulage des affûts de siège. Aussi, fut-il, comme *Vallière*, dans l'obligation d'employer un chariot au transport des pièces, et d'avoir deux voitures pour une même bouche à feu.

278. Les charrettes avaient l'avantage d'être simples et légères ; leur forme générale rendait facile le chargement et le déchargement. Elles furent donc conservées dans le nouvel équipage de siège ; mais on les rendit plus roulantes, en remplaçant leurs essieux de bois par des essieux de fer, et en garnissant de boîtes en bronze les vides des moyeux.

Il y avait trois modèles : une longue charrette propre au transport des approvisionnements, des rechanges et des bois à plate-forme ; une deuxième charrette bien moins longue, pour

porter les boulets dans les marches et approvisionner les batteries pendant le siège, et un *camion* de même longueur que la voiture à bonlets, destiné aux mortiers, à leurs affûts et aux gros projectiles. Mais ce camion fut promptement condamné par l'expérience. Alors on chargea les mortiers et leurs affûts sur le chariot à canon, bien que la composition de cette voiture ne lui permit pas un pareil chargement.

Le nouveau matériel de siège n'était donc pas beaucoup plus mobile que le précédent; mais apparemment *Gribeauval* céda sur ce point, qui n'était pas le plus important, pour gagner davantage sur le matériel de campagne.

279. Les canons de seize, de douze et de huit, selon l'ordonnance de 1732, devaient être exclusivement employés à la défense des places. Cependant, on y admit le calibre de vingt-quatre, afin de se ménager une réserve qui donnât les moyens de renouveler promptement les équipages de siège.

Gribeauval avait créé en 1749 un nouvel affût de place dont il s'était servi avec avantage dans la défense de Schweidnitz et que *Vallière* lui-même avait approuvé. Cet affût fit partie du nouveau matériel. Permettant de tirer par-dessus le parapet, il était bien mieux approprié à la défense que l'ancien; mais il laissait beaucoup encore à désirer. Quelques-uns de ses défauts appartiennent à l'affût proprement dit; d'autres proviennent du châssis. L'affût manque de mobilité et donne grande prise au ricochet. Le châssis restreint trop le champ de tir, exige à la queue de la plate-forme en terre un remblai qui expose les canonniers pendant la manœuvre, a trop de longueur pour convenir dans toutes les localités, et se détériore promptement, en raison de ce qu'il repose sur le sol de la batterie.

280. *Gribeauval* construisit trois modèles de triqueballes, pour le mouvement des bouches à feu dans les places et le transport des lourds fardeaux. Ils ont quatre roues et l'avant-train des affûts de siège.

Le mécanisme du premier modèle consiste en une vis placée derrière le dernier essieu. Produisant un très-grand frottement, il n'est pas aussi favorable au moteur qu'on pourrait le croire d'après le rapport des bras de levier, et les nombreux cahots qu'éprouve la voiture sur le pavé des villes, peuvent le détériorer

assez promptement. Du reste, la manœuvre en est simple et sans danger.

L'arrière-train des deux autres triqueballes est composé d'un essieu en bois surmonté d'une selette, et d'une flèche arc-boutée par deux empanons. La flèche s'assemble normalement entre les deux premières pièces, et forme ainsi un levier coudé auquel l'essieu sert d'axe de rotation. Son autre extrémité est percée d'une lunette dans laquelle s'engage la cheville de l'avant-train. La voiture est donc aussi simple qu'elle peut l'être ; mais la manœuvre du chargement est sujette à causer des accidens graves.

En effet, pour soulever le fardeau, les hommes agissent sur des cordages attachés à l'extrémité antérieure de la flèche, et comme ce levier est vertical dans le premier instant, ils sont alors obligés à un très-grand effort. Mais un faible abaissement diminue le moment mécanique de la résistance et augmente de beaucoup celui de la puissance, auquel s'ajoute encore celui du poids de la flèche. Si donc les travailleurs n'ont pas soin de modérer convenablement leur action, et même de retenir à propos, le levier s'abat rapidement et produit sur le sol un choc d'une extrême violence. Le déchargement occasionne un effet analogue, mais en sens contraire.

Le triqueballe à vis et l'un des triqueballes à levier ont des roues très-hautes. Le troisième, uniquement destiné au service des places, a les mêmes roues que la charrette. Les essieux de derrière sont tous en bois, et comme il en est de même pour ceux de devant, le roulage est loin d'être aussi facile qu'il pourrait l'être. C'est surtout dans le triqueballe spécial des places que ce défaut est nuisible : le frottement des moyeux devient une très-grande partie de la résistance totale, attendu que les roues sont de hauteur ordinaire et roulent sur un sol dur, assez uni. Mais, dans les arsenaux, on diminuait de beaucoup le frottement total, car au lieu de l'avant-train de siège, on adaptait toujours aux triqueballes l'avant-train de campagne qui avait un mode d'attelage plus facile. A la vérité, il en résultait une voiture incohérente, dont les chevaux étaient obligés de soutenir le timon à l'aide des chaînes de retraite.

281. L'artillerie de côte reçut un affût tout-à-fait nouveau, spécialement approprié à son service. Ne devant pas transporter

la bouche à feu, il n'avait nullement besoin de roues. De là, plus de simplicité, un moindre prix et plus de durée.

L'affût de côté dû à *Gribeauval*, est porté par deux rouleaux qui reposent sur un châssis. Ces rouleaux tournent pendant le recul, mais avec beaucoup de frottement, encastrés qu'ils sont dans le dessous des flasques. Leurs têtes ont des mortaises où l'on place des leviers, quand la manœuvre exige que l'affût soit mù à bras. Des roulettes et un levier directeur placés à l'arrière du châssis, joints à une plate-forme très-simple, horizontale et circulaire, sur laquelle cheminent les roulettes, donnent les moyens de faire tourner promptement le système autour de sa cheville-ouvrière, et de couvrir du feu de la pièce un grand champ de tir.

L'affût remplit donc parfaitement toutes les conditions qu'impose son service (219). Peut-être doit-on lui reprocher d'être trop massif; mais la résistance que lui donne sa grande masse, provient de ses parties en bois et non des ferrures dont l'inventeur a été extrêmement sobre; d'ailleurs, on parviendrait probablement à l'alléger, si l'on s'occupait de le perfectionner.

ARTILLÉRIE DE CAMPAGNE.

282. L'artillerie de campagne, toute entière à créer, fut l'objet principal des méditations de *Gribeauval*. Il fallait donner à ce matériel de la légèreté, de la solidité, de l'uniformité, et en même temps une certaine simplicité; il fallait transporter les munitions sur les champs de bataille, sans qu'elles pussent être altérées par l'intempérie de l'air; il fallait trouver un moyen prompt d'exécuter le tir des bouches à feu; il fallait enfin que l'artillerie, alors plus embarrassante qu'utile, acquit une mobilité qui lui permit de passer partout, de favoriser les mouvemens des troupes, et de combattre ensuite avec elles. Ce problème si compliqué s'est trouvé en grande partie résolu par le génie de *Gribeauval*.

Les calibres et les longueurs d'âme furent basés sur les effets à produire; en conséquence, on adopta les canons de douze, de huit et de quatre, auxquels on donna une longueur d'âme égale à dix-sept fois leur calibre et un poids de cent cinquante fois celui du boulet. Ces nouvelles pièces pesèrent à-peu-près

moitié moins que les anciennes de même nom, et cependant, par suite d'une meilleure confection qui permit de diminuer le vent du boulet, elles eurent à-peu-près autant de portée.

Il ne se vit plus dans le matériel de campagne, que des voitures à quatre roues et des avant-trains à timon et à sassoire. Les arrière-trains furent composés de deux brancards, dont les extrémités antérieures, réunies par une entretoise, reposèrent directement sur le train de devant. L'entretoise dans les affûts, le *lisoir* dans les autres voitures, eurent chacun une lunette pour recevoir la cheville-ouvrière; une chaîne d'embrelage maintint l'union des deux trains. Les roues de devant reçurent plus de hauteur; des essieux en fer remplacèrent les essieux en bois, et l'intérieur des moyeux fut garni de boîtes en bronze. Pour donner aux voitures plus de stabilité, on augmenta leur voie : de 47^{po} qu'elle avait du temps de Vallière, elle fut portée à 56^{po} 6^{lis}.

Les nouvelles boîtes, les nouveaux essieux, l'augmentation en hauteur des roues d'avant-train, un tracé d'ensemble basé sur les vrais principes (197), diminuèrent de beaucoup les résistances du roulage, et par l'emploi du timon et de la sassoire, on rendit aux chevaux toute la liberté de leurs mouvemens : ils purent dès-lors prendre les allures qui leur sont naturelles, et passer facilement dans toute espèce de chemins. Enfin, les conducteurs ne furent plus obligés de suivre à pied les voitures, et l'artillerie de campagne devint assez mobile pour manœuvrer même avec la cavalerie, dans les terrains légèrement accidentés.

283. On conserva la forme générale des affûts, mais leur tracé reçut plusieurs modifications importantes. L'axe de la bouche à feu étant moins élevé au-dessus du sol, par suite de la substitution d'un essieu en fer à l'essieu en bois, il s'ensuivit une notable diminution dans la longueur et le poids des flasques. L'angle du recul (157) fut agrandi, pour que l'allègement de l'affût et la diminution des résistances du roulage, n'augmentassent pas trop le mouvement rétrograde, malgré la grande intensité donnée à la pression des crosses sur le sol (161).

Mais le nouveau tracé et surtout la diminution du poids des canons devaient accroître les percussions du tir (150). Il fallait donc ajouter à la solidité des affûts. On y parvint en laissant plus

de bois sous le cintre de mire, en renforçant les flasques par des ferrures, en rendant plus intime l'union de la pièce et de son support, et en supprimant les tenons dans les assemblages des entretoises. Ces changemens augmentèrent à tel point la force de résistance, qu'il devint même possible de diminuer l'épaisseur des flasques.

Les crosses reçurent une forme favorable à leur glissement sur tous les terrains, pour qu'elles n'entravassent pas les manœuvres à la prolonge qui furent alors introduites dans l'artillerie. Et comme le caisson était incapable de suivre ces manœuvres partout, il fallut faire porter quelques munitions à l'affût. On les renferma dans un coffret, et ce coffret fut mis entre les flasques, près des crosses, car le seul emplacement qu'il eût pu occuper sur l'avant-train, se trouvait pris par la cheville-onvrière. Il s'ensuivit l'obligation de porter le centre de gravité de la pièce en arrière du dernier essieu, pour que l'avant-train pût être ôté et remis avec moins de difficulté. Mais la nouvelle position de l'encastrement des tonrillons, très-convenable pour le tir et les manœuvres, ne l'était pas pour le transport: pendant les marches, le poids des pièces un peu lourdes doit être réparti entre les deux essieux. Il y eut donc nécessité de pratiquer, pour les calibres de douze et de huit, un encastrement de route, en avant de celui qui existait déjà.

Enfin, dans la vue d'accélérer le tir, on rendit le pointage prompt et facile, en adaptant à l'affût, au-dessous de la culasse, une vis de fer, mobile dans un écrou de bronze, et en fixant sur l'entretoise des crosses, des anneaux propres à recevoir deux leviers. Les armemens furent d'ailleurs disposés le long des flasques et retenus par des ferrures, de manière que les canonniers les eussent toujours sous la main et pussent les prendre ou les replacer avec facilité.

284. Mais, c'est principalement le transport de charges toutes faites, sur le champ de bataille, qui donna une extrême rapidité à l'exécution des bouches à feu. Ainsi, le vicieux usage de jeter les boulets et les bonchons sur le sol, se trouva complètement aboli; on ne vit plus des barils de poudre ouverts au milieu du feu, et l'emploi non moins dangereux de la lanterne fut abandonné.

Les nouvelles munitions nécessitèrent une nouvelle voiture qui les mit à l'abri des injures de l'air et les préservât du feu. *Gribeauval* en fit une solide et légère qu'il nomma *caisson*. L'arrière-train présente un coffre exactement fermé par un couvercle en forme de toit, dont l'extérieur est revêtu de feuilles de tôle. Les charges y sont placées dans des cases et séparées par des étoupes bien bourrées, de sorte que celles d'une même case ne peuvent se heurter. Le caisson porte en outre, à l'extérieur, une roue, plusieurs autres rechanges aussi souvent nécessaires, et les outils de pionniers propres à la préparation des passages difficiles. Mais, si ce sont là de précieux avantages, ils se trouvent mêlés avec de graves défauts que bientôt nous pourrions signaler.

285. Trois autres voitures nouvelles, à quatre roues, complèteront le matériel de campagne; ce sont le *chariot à munitions*, le *caisson de parc* et la *forge*.

Le chariot, destiné à porter des objets qui généralement ne craignent point les injures de l'air, n'avait pas besoin d'être couvert. Le fond de l'arrière-train est donc formé de planches non jointives, par les intervalles desquelles l'eau pluviale peut s'écouler; les parois latérales sont à claire-voie et arc-boutées, sur les brancards, par des *ranchets* en fer que leur forme courbe rend propres à maintenir les rechanges transportés; un *haillon*, aussi à claire-voie, ferme chaque bout de la voiture; mais celui de devant s'enlève quand besoin est, et celui de derrière prend une position verticale au-dessous du fond, si la longueur des objets chargés dépasse celle des brancards. Enfin, le chariot se couvre simplement d'un *prélart*, quand la charge est composée de caisses d'armes, de harnais ou de barils de poudre.

286. Le caisson de parc fut fait pour transporter des outils et des artifices. Son arrière-train devait donc présenter un coffre semblable à celui du caisson à munitions. Mais, ayant besoin d'une plus grande capacité, il est beaucoup plus large. Du reste, à l'extérieur peuvent être placés les mêmes rechanges que reçoit l'autre caisson.

287. La forge porte une machine de même nom, composée d'un âtre et d'un soufflet. L'âtre est formé par trois feuilles de tôle et entouré d'un *garde-frasier* de même matière. Le soufflet

placé en arrière de l'âtre, s'en trouve séparé par le *contre-cœur*, pièce verticale de tôle renforcée d'une plaque de fonte au milieu, fortement arc-boutée sur les brancards et assez haute pour empêcher le déversement de la flamme. Une traverse en fer que soutiennent deux montans dressés et arc-boutés aussi sur les côtés du corps de voiture, sert d'axe d'oscillation à la brancloire. Deux supports fixés à ces montans, élèvent un peu au-dessus des mêmes côtés, les tourillons du soufflet.

La voiture porte en outre une caisse en bois destinée au charbon et placée entre les brancards, sous la buse; un coffre contenant les outils de forgeron, avec un petit approvisionnement de fer, et chargé sur l'arrière; un autre coffre contenant les outils de serrurier, avec quelques ferrures confectionnées; et chargé sur le devant; enfin une bigorne montée sur son pied et posée sur l'âtre.

288. Le chariot à munitions, le caisson de parc et la forge reçoivent le même avant-train. Il a une pièce de contre-appui derrière l'essieu. Cette pièce est traversée par la cheville-ouvrière, pour que la voiture ait un assez grand angle de tournant (125), malgré l'intervalle des brancards et leur médiocre élévation au-dessus du sol.

Au contraire, le caisson à munitions et les affûts des trois calibres ont chacun un avant-train particulier, à sassoire, dans lequel la cheville-ouvrière est placée au-dessus de l'essieu. Cette disposition donne à l'ensemble plus de légèreté que la précédente et aux servans plus de facilité pour séparer ou réunir les deux trains.

La sassoire s'appuie dans les affûts, contre le dessous des flasques, et dans le caisson, contre le dessous d'une flèche qui va du corps en bois du premier essieu à celui du dernier. C'est l'élasticité de cette flèche qui permet au timon un peu de jeu dans le sens vertical. Sans la flexion d'une telle pièce, il se briserait sous une traction dirigée de haut en bas; car son élasticité ne résisterait pas à l'effort nécessaire pour soulever le corps de voiture autour de l'essieu (96). D'ailleurs, l'emploi de la flèche comme appui de la sassoire, est rendu indispensable par la grande élévation donnée aux brancards à l'effet d'avoir un tournant convenable.

289. *Gribeauval* voulant compléter son système d'artillerie, dut s'occuper aussi de perfectionner le matériel propre à l'établissement des ponts. Mais sur ce point encore, il se trouva obligé de laisser son ouvrage bien imparfait.

L'équipage de pontons destiné aux rivières peu rapides, eut un nouveau haquet, supérieur à l'ancien, par sa composition et son tracé d'ensemble. Cependant, contre l'opinion bien prononcée du réformateur, le chargement ne fut pas changé (273), et malgré les modifications faites à ses parties, il s'élevait à 2600 livres, poids bien au-dessus des 1800 livres que pèse la pièce de douze. De là et de ce que l'essieu de derrière, encore en bois, avait des fusées très-inclinées, vint que la voiture eut très-peu de mobilité (188).

Le tracé du ponton le rendait tout-à-fait impropre à la navigation; son enveloppe de cuivre était facilement traversée par les balles, souvent déchirée par les souches d'arbre ou les pieux qui bordent les rivières, et il n'y avait pas possibilité d'en réparer sur-le-champ les avaries. Tout ce matériel convenait donc fort peu au service. Aussi cessa-t-on bientôt de l'employer en campagne.

290. L'équipage de bateaux réservé pour le passage des fleuves, ne peut pas non plus suivre les mouvemens d'une armée; le bateau, construit tout en chêne, est même trop lourd pour bien naviguer: il pèse 5800 livres, et la voiture chargée, 5840 livres. On ne saurait donc s'étonner de ce que cet équipage n'ait jamais servi qu'aux ponts stables.

Le haquet offre au bateau, pour appuis, deux pièces transversales situées au-dessus des essieux; une flèche unit les deux trains, en se liant par une fourchette à celui de devant, et par des empanons à celui de derrière. Cette composition générale est sans doute simple; mais le bateau n'est pas suffisamment solide, et les deux parties de la voiture forment un ensemble peu solide: dans les mauvais chemins, la flèche casse en avant des empanons. Le roulage est d'ailleurs très-difficile, à cause des essieux en bois et de leur grand écartement (108). Toutefois, l'ouverture de l'angle du tournant convient assez bien à la longueur du haquet, car les roues de devant pouvant passer sous le bateau, ne sont arrêtées que par la flèche.

291. Ce que nous avons dit jusqu'à présent du matériel de *Gribeauval*, le montre bien mieux approprié aux différens services de l'artillerie, que ne l'était celui de *Vallière*. Mais là ne se bornaient pas ses avantages : il l'emportait encore de beaucoup pour la solidité, et présentait une uniformité fort importante qui n'existait nullement dans l'autre.

Au lieu de river les boulons et d'arrêter les chevilles par des clavettes, comme autrefois, on les tendit au moyen d'écrous, ce qui permit de comprimer les pièces assemblées autant que le souffrait la résistance des têtes de boulon ou celle des bouts filetés. Auparavant, ces pièces, simplement juxta-posées, se déssinaient bientôt (275). La puissante force de compression obtenue fut même répartie sur un grand nombre de points, par l'interposition de rosettes ou plutôt de ferrures d'une étendue et d'une épaisseur proportionnées aux efforts destructeurs. Ainsi, l'on combina la résistance du fer avec celle du bois, pour former, de toutes les parties assemblées, un corps unique en quelque sorte, et le rendre capable, sous une faible masse, d'une très-grande force et d'une longue durée.

L'uniformité exigeait une extrême précision dans l'exécution de chaque pièce et une exactitude rigoureuse dans les assemblages. On les prescrivit, on les obtint, et par là les constructions furent portées à un tel point de perfection, qu'une pièce soit en bois, soit en fer d'un certain modèle de voiture et confectionnée dans un arsenal quelconque, put servir de rechange à toutes les voitures du même modèle confectionnées dans les autres arsenaux; avantage inappréciable sous le rapport de l'entretien du matériel d'une armée, car ce matériel est aujourd'hui si considérable, qu'on est obligé, pour le former, de rassembler des objets sortis de presque tous les ateliers d'artillerie.

La parfaite égalité des pièces analogues, aussi nécessaire à la solidité et à la promptitude des réparations, qu'à la diminution des rechanges, fut le fruit des tables de construction qu'on établit avec le plus grand soin pour chaque modèle d'affût ou de voiture. Les dimensions de toutes les parties en fer ou en bois s'y trouvèrent précisées; elles donnèrent tous les détails d'exécution propres à faciliter le travail, et pour plus de clarté, des dessins faits et cotés avec exactitude, se joignirent au texte.

Les avantages de l'uniformité étaient si grands et si visibles, qu'on voulut la pousser beaucoup plus loin, en rendant communs aux nombreuses voitures du matériel de campagne, des systèmes de pièces tout entiers. Mais cet important travail resta imparfait : il y eut encore sept modèles de roues, quatre modèles d'essieux, et la plupart des voitures conservèrent des avant-trains différens. Le peu de succès d'une si belle tentative ne saurait étonner : l'inventeur de l'artillerie nouvelle avait tout à créer, et il fut constamment contrarié dans ses vues, qui heurtaient les préjugés de la vieille routine.

292. La mobilité était, comme on a pu le voir par ce qui précède, le but principal des innovations faites dans l'équipage de campagne. *Gribeauval* épuisa pour l'obtenir, toutes les combinaisons que lui fournit son génie. Mais, s'il a diminué les masses, autant que les effets à produire et la solidité le lui permettaient; s'il a favorisé la puissance motrice, en atténuant les frottemens et en augmentant les bras de leviers de cette puissance; s'il a rendu au cheval toute la liberté de ses mouvemens et s'il l'a fait agir de la manière la plus favorable; tant d'avantages cependant n'ont pas été obtenus sans donner naissance à de graves inconvéniens.

Les défauts des voitures de *Gribeauval* proviennent de la manière dont s'opère la réunion des deux trains, de l'emploi d'une sassoire, de la hauteur qu'ont les roues de devant, puis, pour les affûts en particulier, de la position donnée à l'articulation et des doubles encastremens.

Il suit des deux premiers faits que, dans toutes les voitures, les mouvemens du timon, sont trop limités soit au-dessus, soit au-dessous de la position primitive, et qu'il se brise souvent dans les terrains accidentés (104). Afin de remédier à ces deux défauts, on admit, contre l'opinion de *Gribeauval*, qu'en pays de montagnes, le timon serait remplacé par une limonière dont le jétard se placerait entre les armons; mais cette limonière ne faisait que reporter sur d'autres parties de l'avant-train, les efforts qui occasionnaient la rupture du timon; d'ailleurs elle rétablissait tous les désavantages de l'attelage en file, plus grands encore dans les terrains accidentés que partout ailleurs; elle était coûteuse, lourde et embarrassante; enfin dans certaines

contrées, il fallait par fois quitter et reprendre le timon, puis le quitter encore. Un moyen si imparfait devait être bientôt abandonné, et il le fut effectivement.

Les inconvénients qui résultent du peu de jeu qu'a le timon, se font surtout sentir dans les affûts et les caissons à munitions, ces voitures ayant souvent à franchir sur le champ de bataille des fossés ou des ravins. A la vérité, il suffit de mettre l'affût à la prolonge, pour qu'il puisse effectuer son passage; mais le caisson est tout-à-fait arrêté, et l'on est alors obligé de marcher à l'ennemi avec les seules munitions du coffret, ou de perdre un temps précieux soit pour préparer le terrain, soit pour chercher un chemin facile.

Ainsi, les voitures de campagne, particulièrement les affûts et leurs caissons, n'ont pas toute la mobilité que nécessite le service.

293. L'augmentation qui fut faite au diamètre des roues d'avant-train, diminua considérablement la facilité qu'avaient les voitures à tourner. L'affût s'en ressentit moins que les autres, à cause du médiocre écartement de ses flasques; mais le caisson à munitions, qui devait suivre toutes les manœuvres, se trouva privé de la faculté d'exécuter ses divers mouvemens avec la rapidité nécessaire (122).

294. Ce qu'on peut reprocher à l'emplacement de l'articulation des affûts, c'est sa trop grande élévation au-dessus du sol et la difficulté d'en approcher que cause la sassoire: les canonniers qui doivent séparer ou réunir les trains, sont obligés de soulever les crosses à la hauteur de leurs épaules, pour le moins, et de prendre une position tout-à-fait désavantageuse au déploiement de leurs forces; ils courent même le risque d'être blessés, soit par la roue, soit par la pointe de l'équerre à tige, contre laquelle appuie l'une des cuisses.

La difficulté de la manœuvre, quand il s'agit de remettre l'avant-train, est encore augmentée par l'impossibilité où sont les servans d'apercevoir le bout supérieur de la cheville-ouvrière.

Enfin, la réunion dans les affûts des cinq causes signalées, rendit très-longue la manœuvre usitée pour passer de la disposition de marche à celle de combat et réciproquement; on s'aperçut même bientôt qu'il fallait renoncer à l'usage de l'encas-

trement de route, non-seulement pour tous les mouvemens qui se font en bataille, mais encore pour ceux qui s'exécutent dans le voisinage de l'ennemi.

CHAPITRE TROISIÈME.

MODIFICATIONS DE L'AN XI.

295. A l'époque de l'an XI, on entreprit une réforme générale du système de *Gribeauval*, dans la vue de donner plus de mobilité à tout le matériel, et surtout à l'équipage de campagne.

Les canons de huit et de quatre furent supprimés, le premier comme trop puissant et trop peu mobile pour les effets à produire ordinairement, le second comme incapable de ces effets. Une seule pièce du calibre de six les remplaça ; elle reçut une longueur d'âme égale à dix-sept fois le diamètre, et son poids ne s'éleva qu'à cent trente fois celui du boulet. On eut bien aussi l'idée de modifier la pièce de douze d'après les mêmes bases ; mais elle fut conservée telle que *Gribeauval* l'avait établie. La même époque vit créer encore une autre bouche à feu, l'obusier de vingt-quatre ; son poids égala seulement quarante-trois fois celui du projectile chargé.

Dans les tracés des affûts construits pour cet obusier et pour la pièce de six, la plus grande partie du cintre conservé par *Gribeauval*, fut supprimée, afin que les flasques résistassent mieux aux effets du tir ; les crosses furent relevées et reçurent une courbure plus prononcée, pour que dans les manœuvres à la prolonge, elles surmontassent plus facilement les inégalités du terrain ; mais ce dernier changement ne put être maintenu : il n'atteignit pas son but, et le bois se trouva contretailé au point de perdre une grande partie de sa force. Il fut en outre jugé nécessaire d'augmenter la résistance du corps de l'essieu en fer et de prévenir la prompte dégradation qu'il occasionnait à ses encastremens dans les flasques ; on y parvint en le logeant dans un corps d'essieu en bois.

D'un autre côté, les nouvelles bouches à feu trop légères, tourmentèrent tellement leurs affûts (150), qu'on se vit obligé de

donner à celui de la pièce de six, le même poids qu'à l'affût de huit, modèle de *Gribeauval*, et à celui de l'obusier de vingt-quatre, le même poids qu'à l'affût de douze ; cependant le dernier n'offrit pas encore assez de résistance.

296. Tant pour faciliter la séparation et la réunion des deux parties de la voiture, que pour lui donner un tournant plus court, on construisit un nouvel avant-train. Il recevait un coffre à munitions, disposé de manière à laisser le centre de gravité en avant de l'essieu ; une selette placée en arrière de cet essieu, portait la cheville-ouvrière, et au-delà de la selette se trouvait la sassoire. Mais cet avant-train fut promptement abandonné : il était très-lourd, et par lui-même et à cause du coffre qui ne contenait pourtant que quelques coups de plus que le coffret de *Gribeauval* ; les mouvemens du timon qu'occasionnaient le poids des crosses, et celui du coffre, agissant l'un en arrière, l'autre en avant de l'essieu, gênaient beaucoup la marche des chevaux et pouvaient blesser le soldat du train ; dès que le chargement du même coffre n'était plus complet, le corps d'affût élevait très-haut le bout du timon ; dans quelque état que se trouvât ce chargement, il pesait sur les chaînes de retraite, quand les trains étaient séparés ; et comme le coffre s'ouvrait nécessairement du côté des chevaux, le pourvoyeur, obligé de se placer entre les traits, se trouvait en danger d'être estropié.

297. Plusieurs autres innovations furent tentées avec aussi peu de succès sur d'autres voitures. On proposa de construire un nouveau caisson qui, avec des roues de mêmes diamètres que celles du caisson de *Gribeauval*, et des brancards placés à la même hauteur au-dessus du sol, eût cependant un tournant plus court : la voiture exécutée était lourde et peu solide ; elle fut abandonnée immédiatement. Il y eut aussi des tentatives pour modifier le chariot à munitions, la forge de campagne, l'affût de place et celui des côtes ; mais l'expérience fit échouer tous les essais.

298. Les idées d'amélioration se portèrent enfin sur le matériel des ponts. L'équipage de pontons fut définitivement abandonné, et dans le dessein de réaliser les vues qui l'avaient fait conserver par *Gribeauval*, on créa un nouvel équipage de bateaux, avec l'intention de lui donner assez de mobilité pour qu'il pût suivre les mouvemens d'une armée (290).

La longueur du bateau de l'an XI est seulement de 33^{pi}; sa largeur et sa profondeur sont aussi moindres que celles du bateau qu'il remplaça. Il a des membrures en chêne, des parois en planches de sapin et ne pèse pas plus de 1500 livres. On conserva dans le tracé, *l'angle au flanc* qui diminue la résistance de l'eau, en donnant une section droite composée de deux trapèzes symétriques.

Deux flèches unissent l'avant et l'arrière du corps de voiture dans le haquet; elles traversent la selette de derrière par des lunettes, ce qui permet de faire varier la distance des trains, comme au haquet de *Gribeauval*; mais n'étant pas arc-boutées, elles cassent fréquemment près de ces lunettes. Un autre vice de composition, c'est que les roues de devant, dont la hauteur ne peut être inférieure à 5^{pi} 6^{po} dans l'artillerie de campagne, doivent être réduites à un diamètre de 5^{pi}, pour passer sous les flèches. Enfin, le bateau placé sur son fond, est seul porté par le haquet; les poutrelles et les madriers sont chargés sur d'autres voitures.

299. L'équipage de bateaux établi en l'an XI était donc loin encore de la perfection. Plus tard, dans les guerres d'Italie, on en créa un autre qui rendit de très-grands services.

La longueur du bateau fut réduite à 30^{pi}, et le haquet eut des brancards. Cette composition générale, aussi simple que la précédente, l'est un peu moins, à la vérité, que celle de *Gribeauval*; mais elle a le très-grand avantage de donner une solidité suffisante et de bien soutenir le bateau, qui du reste forme aussi seul le chargement.

La sassoire de l'avant-train est un cercle entier qu'on appelle *le rond*, et les roues, quoique d'une hauteur convenable, peuvent passer sous les brancards, ce qui permet de tourner dans le moindre espace possible.

300. Nous pouvons donc dire que de toutes les innovations projetées et même ordonnées à l'époque de l'an XI, le canon de six et l'obusier de vingt-quatre sont les seules qu'on ait maintenues; encore fut-il nécessaire de faire rentrer les affûts dans le système de *Gribeauval*, en leur donnant l'avant-train de l'ancienne pièce de huit.

Parmi toutes les voitures du même système, le caisson à muni-

tions étant celle qui présentait le plus de défauts, a le plus attiré l'attention des officiers d'artillerie. Aussi, depuis l'an XI, imaginèrent-ils divers moyens, pour lui donner un plus grand angle de tournant. On employa entre autres un avant-train semblable à celui qu'avait imposé *Gribeauval* aux voitures de campagne qui n'entrent pas en ligne, et dans lequel la cheville-ouvrière se trouve placée en arrière de l'essieu, sur la sassoire. Par suite de cette position du pivot, la roue de devant que le demi-tour rapproche du corps de voiture, décrit, il est vrai, un plus grand arc de cercle, avant de s'arrêter contre le brancard, et la voiture peut tourner plus court (125); mais on reconnut bientôt que le nouvel avant-train augmentait de beaucoup l'effort de traction, et il fallut encore laisser subsister le caisson tel que l'avait fait *Gribeauval*.

CHAPITRE QUATRIÈME.

MODIFICATIONS DE 1816 A 1824.

501. Des officiers instruits qui avaient observé le matériel de campagne dans les marches et sur les champs de bataille des glorieuses guerres de l'Empire, furent appelés en 1816, au comité central de l'artillerie et occupés, sous la direction des généraux de l'arme, à rechercher les moyens de donner aux constructions de *Gribeauval*, plus de simplicité, de solidité et d'uniformité.

Les premières modifications portèrent sur les essieux et les roues. Ce sont les parties qui ont le plus d'influence sur le roulage des voitures, et le grand nombre de leurs modèles multipliait beaucoup trop les rechanges à transporter.

A la suite d'expériences qui durèrent plusieurs années, et dans lesquelles on eut égard aux effets du tir, du transport et des variations de la température, les dimensions, les tracés et le mode de fabrication des essieux furent réglés de nouveau. Un premier modèle servit aux arrière-trains des affûts de douze et de huit; un second devint commun aux arrière-trains des autres voitures de campagne et à tous les avant-trains du même équipage.

302. Les roues eurent des moyeux moins longs (172), des jantes plus larges et moins hautes (56), quatorze rais au lieu de douze, et le bois de ces rais ne fut plus contretailé vers la broche (171). Elles se trouvèrent donc plus solides que les anciennes et plus favorables au roulage. Le nombre des modèles se réduisit d'ailleurs à trois : le premier pour les arrière-trains des affûts, le second pour ceux des autres voitures, le troisième pour tous les avant-trains.

303. Des expériences furent entreprises dans des vues d'économie, pour reconnaître si des boîtes de roue en fonte, rendraient le tirage aussi facile que les boîtes en bronze. On trouva qu'avec des essieux parfaitement graissés, il est indifférent d'employer l'une ou l'autre matière, mais que si les surfaces frottent presque à sec, ainsi qu'il arrive assez souvent en campagne, le bronze a sur la fonte le très-grand avantage d'user beaucoup moins les essieux ; en conséquence, et malgré la différence des prix, les boîtes de bronze continuèrent d'être employées.

304. L'avant-train commun aux voitures de campagne qui n'entrent pas en ligne (288), fut remplacé par un autre d'une composition analogue, mais plus léger et plus solide. La sassoire devint beaucoup plus courte (195) ; le bois des armons éprouva moins de contretaille ; on changea la ferrure de l'extrémité antérieure du timon, qui, tout-à-fait défectueuse, occasionnait fréquemment la rupture de cette pièce, et pour augmenter la simplicité du matériel, on réduisit le nombre des modèles de volées et de palonniers.

305. L'arrière-train du chariot de parc subit peu de changements, mais ce fut le contraire pour le chariot à munitions. Cette voiture est très-utile en campagne : sa composition la rend propre à recevoir toute espèce d'objets ; on ne parvient même pas à empêcher d'y placer des bagages. Elle se trouve donc exposée à être surchargée, et par conséquent, il convenait de la rendre plus solide. C'est pourquoi les brancards reçurent une augmentation de hauteur, et le lisoir par lequel se transmet le mouvement du train de devant à celui de derrière, fut fixé plus fortement au corps de voiture. Au reste, presque toutes les autres pièces en bois et en fer éprouvèrent des modifications dans leur tracé.

306. La forge était pen mobile, et pourtant elle doit suivre la réserve de la batterie; elle doit même se porter rapidement vers les voitures qui, dans les marches, se trouvent avoir besoin d'urgentes réparations. On fit donc une forge entièrement nouvelle, tout en conservant la composition générale arrêtée par *Gribeauval*; elle fut plus légère que l'ancienne et put tourner plus facilement. Ces avantages résultèrent principalement de l'adoption d'un autre soufflet qui, avec des dimensions moindres que celles du précédent, fournit pourtant la même quantité d'air. Il permit de raccourcir les brancards, de les alléger, de les rapprocher, et de diminuer la hauteur des plus grosses ferrures.

Le chargement fut distribué d'une manière plus favorable au roulage: un seul coffre fixé sur l'extrémité postérieure du corps de voiture, renferma tous les outils; un autre placé à l'extrémité antérieure, reçut l'approvisionnement de charbon. De là résulta un rapport plus convenable entre les pressions exercées sur les deux essieux (93), et plus de facilité pour séparer les deux trains: exécutée sur la forge de *Gribeauval*, cette manœuvre exigeait huit hommes. En outre, la caisse au charbon établie à fixité entre les brancards, pourrissait, dégradait les pièces qu'elle touchait, et sa nouvelle position fit disparaître ce défaut.

L'âtre reçut aussi une modification importante, qui accrut la facilité du travail des forgerons. Enfin, toutes les ferrures rendues pour la plupart plus légères, eurent des tracés mieux appropriés à leurs fonctions.

307. Tant d'essais infructueux avaient été faits à diverses époques, pour changer la composition du caisson de batterie, qu'on résolut de la conserver; mais plusieurs améliorations eurent lieu dans les détails. Cependant, l'avant-train qui était très-léger, n'éprouva de changemens qu'à l'égard des tracés de ses différentes pièces. Le plus remarquable concerné le crochet d'embrelage sujet à se casser et à laisser la chaîne se dégager de l'anneau. On lui donna plus de force, pour empêcher ces graves accidens de se renouveler.

Dans l'arrière-train, l'épaisseur verticale des brancards fut augmentée; les tracés de presque toutes les ferrures du couverte changeèrent, ainsi que le mode d'union des feuilles de tôle,

sans qu'on parvint pourtant à empêcher l'eau de s'insinuer dans le coffre; la fermeture se fit avec une grande précision; enfin il y eut un nouvel essieu porte-roue plus solidement fixé que l'ancien, et rendu plus fort au moyen d'un équignon encasté sur toute la longueur de la fusée (182).

308. Les deux obusiers de campagne, qui étaient fort courts pour que la charge pût y être placée à la main, manquaient de justesse et n'avaient pas assez de portée, puis leur grande légèreté nécessitait des affûts très-massifs (150); celui de l'obusier de six ponces, conservé tel que l'avait fait *Gribeauval*, présentait même encore un essieu en bois. On pensa donc à remplacer ces bouches à feu par d'autres, analogues aux longs obusiers qu'emploient les étrangers, notamment les russes, et qui produisent de grands effets.

Le nouvel obusier de six ponces avait le poids du canon de douze, et le nouvel obusier de vingt-quatre, celui du canon de huit, pour qu'ils pussent être portés par les affûts de ces pièces, ce que permettaient d'ailleurs les dimensions extérieures. Ils furent essayés à Lens et à Strasbourg, en 1819.

Le but principal des épreuves était la détermination d'une forme convenable pour les chambres, et des charges les plus favorables aux effets désirés. Mais, comme les obusiers devaient produire de plus intenses percussions que les canons, à cause de leurs lourds projectiles, on jugea nécessaire de mettre aussi en expérience deux nouveaux affûts d'une force supérieure à celle des autres. Les résultats s'accordent parfaitement avec les principes du tracé d'ensemble que nous avons déduits de la théorie: l'affût qui résista le moins, fut celui dont la masse se trouvait la plus forte (152) et dans lequel le soulèvement des roues répondait à un plus grand angle de tir (148). Du reste, ni l'un ni l'autre n'ont été adoptés.

Conséquemment, dans l'année 1821, on fit éprouver par les écoles deux autres modèles, destinés l'un au canon de douze et à l'obusier de six ponces, l'autre au canon de huit et à l'obusier de vingt-quatre. Leur composition générale revenait à celle des affûts de *Gribeauval*; mais leur tracé reposait sur des principes déduits des épreuves de Lens.

309. Le cintre de dessous était supprimé, comme diminuant

la solidité en rompant le fil du bois. La force de résistance s'en trouvait augmentée d'une autre manière encore : les flasques avaient plus de hauteur au cintre de mire, bien qu'on eût restreint celle de la tête d'affût, pour abaisser les tourillons relativement à l'essieu, ce qui rapprocha du centre de gravité général l'axe de la bouche à feu ; et procura un avantage auquel on ne songeait pas. La distance du même centre à l'axe de l'essieu était diminuée, parce que la naissance du talus des flasques avait été placée plus près de l'encastrement des tourillons, et que les crosses présentaient moins de hauteur à leur cintre. Il fallait donc un moindre effort pour soulever ces crosses ; les tourillons pouvaient sans inconvénient répondre verticalement à l'essieu ; et il n'existait plus de raison pour conserver l'encastrement de route dans l'affût de huit (283) ; mais il ne fut pas possible d'en opérer l'utile suppression pour la pièce de douze ; cela n'empêcha pas toutefois le tracé d'ensemble des nouveaux affûts d'être parfaitement conforme aux principes théoriques (148).

Enfin, les ferrures destinées à maintenir les armemens étaient devenues communes aux deux calibres ; simplification très-importante ; chacune avait même reçu une forme et une force de résistance beaucoup plus en rapport avec ses fonctions.

510. On adopta pour l'avant-train des affûts, tout en conservant le mode d'attelage, une composition plus simple que celle de *Gribeauval*, et plus propre à faciliter la séparation ou la réunion des deux parties de la voiture. L'articulation se trouva moins élevée ; parce que le corps d'essieu en bois fut supprimé ; la selette qu'il supportait, se plaça dans le plan de symétrie ; elle eut une entaille pour recevoir l'essieu ; les armons serrèrent entre eux la partie antérieure ; enfin la sassoire devint plus courte et les équerres à tige destinées au pliage de la prolonge, passèrent de la position où elles gênaient la manœuvre (294), à la face postérieure de la sassoire, où, débordées par les armons, elles ne purent plus blesser les servans qui ôtent et remettent l'avant-train.

511. L'abandon du eslibre de six, dont on avait fait usage dans les guerres de l'Empire (295), réduisit à quatre les bouches à feu de campagne ; car la pièce de quatre resta supprimée : il n'y eut plus que les canons de douze et de huit, les obusiers de

à munitions dont la longueur n'était pas suffisante, on le donna au haquet, en le formant de sept pontrelles et de dix-huit madriers, qui firent un poids total de 871^{kg}. Un arrêtoir, mobile comme un tourniquet, traverse et retient chaque pontrelle; les madriers sont contenus aux deux bouts par des *haillons* et sur leur longueur par quatre *ranchets* en fer. Bien entendu que les haillons s'enlèvent et que les arrêtoirs se rabattent, quand le haquet doit porter un bateau.

Tels sont les changemens opérés dans le matériel, de 1816 à 1824; tous furent de véritables améliorations. L'équipage de campagne en particulier y gagna beaucoup: modifié d'après les observations faites dans une longue expérience de guerre, il se trouva incontestablement supérieur à l'œuvre de *Gribeauval*. Cependant, il ne jouissait pas encore de toute la mobilité désirable, et l'on sentit que pour la lui donner, il fallait, au lieu de procéder par voie de perfectionnement, substituer un nouveau système de constructions à celui de 1776. Dès lors, le comité central de l'artillerie dirigea toutes les études vers ce but.

CHAPITRE CINQUIÈME.

SYSTÈME DE 1827.

C'est toujours une chose fort grave que l'établissement d'un nouveau matériel de guerre; mais elle le devient encore bien davantage, lorsqu'il s'agit d'en abandonner un autre auquel on doit des victoires aussi brillantes que nombreuses. Il convient donc de montrer que l'examen, les épreuves, la discussion, les soins, ni le scrupule n'ont manqué à la création du système de 1827. C'est ce que nous allons faire, en signalant les travaux qui ont précédé cette époque.

TRAVAUX PRÉPARATOIRES.

Il fut présenté au Comité, en 1819, un rapport sur notre artillerie de campagne et sur celle des anglais. On y traçait la marche à suivre pour opérer les grands changemens qu'il devenait

argent de faire subir au matériel français, et les conclusions demandaient des expériences comparatives sur trois espèces de batteries, dont l'une dans le système de *Gribeauval*, une autre dans le système anglais et la troisième dans un nouveau système dit *anglais modifié*. Ces expériences furent ordonnées dans cinq écoles d'artillerie et s'y firent sur une section de chaque espèce, composée d'une pièce de huit, d'un obusier de vingt-quatre et de deux caissons. Mais avant d'en faire connaître les résultats, il est nécessaire de donner une idée du second et du troisième système.

514. Les voitures de l'artillerie anglaise peuvent être considérées comme composées de deux voitures à deux roues accrochées l'une derrière l'autre : la première, qui fait fonction d'avant-train, est à bras de limonière mobiles, afin qu'elle puisse recevoir, selon les circonstances, l'attelage en file ou l'attelage par rangs. Elle porte au-dessus de l'essieu deux petits coffres dont chacun renferme un chargement égal au huitième de l'approvisionnement total de la pièce ; derrière le même essieu se trouve fixée une très-forte ferrure à laquelle on accroche soit l'affût proprement dit, soit le corps du caisson.

L'affût se compose de deux flasques très-courts qui n'ont qu'un seul encastrement et qu'unit une pièce de bois appelée flèche. L'autre bout de cette flèche est taillé en crosse à peu près comme les flasques de *Gribeauval* ; à la crosse tient une lunette en fer dans laquelle s'engage le crochet de l'avant-train.

Le corps du caisson porte deux coffres judicieusement placés : l'un est en arrière de l'axe de l'essieu et l'autre en avant ; sur le milieu de cet essieu est assemblée une flèche, dont l'extrémité antérieure porte aussi une lunette.

515. Voilà certainement un système de construction d'une grande simplicité, mais ce n'est pas à cela que se réduisent ses avantages ; il en existe cinq autres bien tranchés.

Comme dans les changemens de direction les roues de devant parcourent un grand arc, avant d'être arrêtées par la flèche du corps de voiture, on a pu leur donner même hauteur qu'à celles de derrière, tout en conservant un tournant assez court (123). Ainsi, l'affût et le caisson ont non-seulement un avant-train commun, mais encore le même modèle de roues. De l'égalité de hauteur

des quatre roues résulte aussi un roulage plus facile; mais le mode d'attelage employé par les anglais, ne leur permet pas de mettre complètement à profit cet avantage de leur système (113).

Le crochet qui remplace la cheville-ouvrière est placé très-bas et rien n'en gêne l'approche; la lunette se trouve parfaitement en vue des servans; l'affût n'ayant qu'un seul encastrement pour chaque tourillon, et ne portant point de coffre, pèse peu par sa crosse. Or de tout cela résulte une telle facilité pour ôter et remettre l'avant-train, que les cas où la prolonge doit être employée, se trouvent réduits à un très-petit nombre, tandis qu'il fallait en faire un usage continuel dans l'artillerie française (292).

Tous les canonniers nécessaires au service de la pièce peuvent être portés sur les avant-trains et sur le corps du caisson; le tirage n'est pas alors beaucoup plus difficile que dans le cas où l'affût de *Gribeauval* est à la prolonge.

Enfin, l'articulation des trains, comparable à un assemblage à genou, leur donne une complète indépendance. La voiture peut donc se plier aisément à toutes les configurations des terrains les plus accidentés, et aucun obstacle ne saurait l'arrêter (102 et 103). Elle jouit d'ailleurs d'une très-grande stabilité, car le centre de gravité du chargement est, dans chaque train, très-près du plan horizontal de l'essieu.

Ainsi, tout contribue et rien ne s'oppose à ce que le système anglais, abstraction faite de l'attelage, procure une mobilité illimitée. Malheureusement, ce brillant avantage tenant à l'emploi d'une limonière et à la suppression de la sassoire, est en grande partie obtenu aux dépens du motenr (32).

316. Les modifications faites aux constructions anglaises avaient pour but d'annuler les défauts que leur donne le mode d'attelage. L'avant-train à bras de limonière fut donc remplacé par un avant-train à timon et à sassoire. Cette sassoire est en fer, courbée selon un arc de cercle, et mobile de bas en haut. Ainsi, elle n'empêche pas d'approcher du crochet cheville-ouvrière, ni du coffre à munitions. Elle n'use pas non plus la flèche, car elle a pour appui une ferrure placée sur la face supérieure de cette pièce.

La substitution du timon a rendu l'avant-train bien plus simple que celui des anglais, sans nuire à la solidité, et les deux modifications réunies ont permis d'adopter le mode d'attelage de l'ar-

tillerie française; mais par l'emploi de la sassoire, s'est trouvée rétablie la dépendance des trains, et la voiture n'a pas conservé la grande mobilité qu'elle avait avant ces changemens.

L'affût et le caisson de l'artillerie modifiée ont une construction simple et solide; les assemblages y sont faciles et très-bien entendus, tandis que dans le matériel anglais, leur complication en rend l'exécution très-difficile, sans présenter aucun avantage sous le rapport de la solidité et de la durée.

517. Voici maintenant les résultats généraux des expériences comparatives faites sur les trois artilleries de campagne. Les cinq écoles ont, d'un avis unanime, accordé la supériorité au système anglais sur le système de *Gribeauval*; elles ont aussi reconnu la supériorité du système modifié sur le premier, pour la facilité des constructions et la solidité; mais la sassoire et son mode d'appui sur la flèche, leur ont paru présenter de graves inconvéniens.

Les écoles, à l'exception d'une seule, se sont aussi accordées pour rejeter la limonière et donner la préférence au timon. Quant à la manière de soutenir ce timon; soit au moyen d'une autre sassoire, soit en le faisant porter directement par les chevaux, les opinions exprimées dans quatre des commissions ont été tellement divergentes, qu'on a jugé indispensable de recourir à de nouvelles expériences.

518. On essaya comparativement quatre supports adaptés au bout du timon. Il fallut, bien entendu, pour ménager les derniers chevaux, supprimer la volée mobile et attacher les traits de devant à ceux de derrière (37). Les supports étaient formés chacun d'une pièce de bois légère, disposée perpendiculairement au timon. Elle portait vers chaque extrémité un anneau coulant qui s'accrochait au bas d'un *colleron*. Ce colleron embrassait le cou du cheval, s'appuyait sur la partie supérieure et s'y trouvait retenu au moyen d'un coussinet fixé à la tête de bride. Les seules différences qui existassent entre les quatre supports provenaient donc de leur degré de simplicité, de leur légèreté relative, et de la manière dont ils étaient liés au timon.

Le mode de suspension par collerons est usité dans quelques contrées de France, et particulièrement en Normandie où on l'emploie pour les voitures à deux roues qui transportent la marée.

Mais les épreuves faites dans les écoles d'artillerie prouvèrent que, si ce mode n'offre aucun inconvénient sur de belles routes parcourues avec une médiocre vitesse, il n'en est plus de même quand la voiture roule rapidement sur des terrains accidentés ou de mauvais chemins : beaucoup de chevaux furent blessés par les percussions et le frottement du coussinet. On abandonna donc les collerons, toutefois sans renoncer aux supports.

Un autre modèle fut construit. Il est en fer, à branches courbes qui peuvent osciller horizontalement. Un manchon porte ces branches et reçoit le bout du timon, autour duquel rien ne l'empêche de tourner. Les anneaux s'accrochent à la partie inférieure des colliers. Ainsi, les percussions se trouvent reportées, en grande partie, du cou aux épaules et au poitrail.

519. Cependant, à la suite des dernières épreuves, quelques écoles s'étaient prononcées contre tout moyen de faire soutenir le timon par les chevaux, et des officiers distingués avaient émis le vœu de voir adopter un avant-train à limonière. En conséquence, le support en fer fut essayé comparativement avec une *limonière-timon*. On appela ainsi l'ensemble de deux leviers adaptés à l'avant-train : l'un, véritable timon, sert aux derniers chevaux pour diriger et retenir la voiture ; l'autre, bras de limonière, fixé sous la volée de derrière, à l'extrémité de droite, forme avec le premier une limonière complète, au moyen de laquelle le sous-verge soutient la partie antérieure de la voiture, comme dans l'attelage anglais. Mais ce mode d'attelage est bien inférieur à la nouvelle disposition, car il laisse au limonier seul, un travail, souvent fort pénible, qu'elle fait partager au porteur.

Le Comité nomma une commission spéciale pour observer la batterie d'essai pendant sa marche. Cette batterie, partie au mois de novembre 1826, se dirigea sur Strasbourg par Metz, puis opéra son retour à Paris.

320. Comme l'épreuve devait être définitive, l'attention de la Commission dut aussi se porter sur l'emploi des palonniers dans l'attelage en file (36) et sur divers moyens proposés pour empêcher le crochet cheville-ouvrière de se dégager de la lunette. Ces moyens étaient essayés, parce que les premières épreuves des écoles avaient montré que le passage de certains obstacles, ou le renversement de la voiture, pouvait fausser la chevillette

employée pour maintenir l'union des deux trains. C'était là en effet un grave défaut; car il y avait probabilité pour qu'il rendit la séparation impossible et paralysât ainsi la bouche à feu.

Enfin, sur le rapport de la commission spéciale, le Comité rejeta la limonière-timon et adopta le support en fer; puis, en 1827, il proposa et le ministre de la guerre prescrivit l'abandon définitif du système de *Gribeauval* pour les voitures des batteries; on y substitua la composition générale, signalée comme la plus avantageuse, par les longues expériences qu'avaient dirigées eux-mêmes les officiers des régimens d'artillerie.

Ce fut une idée à la fois heureuse et juste, que celle qui fit confier les épreuves comparatives aux officiers des batteries. La réforme se trouva ainsi appuyée du jugement d'hommes qui avaient vu fonctionner l'ancien matériel sur les champs de bataille, et pouvaient être appelés un jour à y faire manœuvrer l'artillerie nouvelle.

Nous ne rappellerons pas les avantages du système de 1827: les théories et les discussions que renferme notre ouvrage, les font suffisamment ressortir; ils viennent même d'être résumés (314 et 315); mais nous croyons devoir terminer par une description rapide du nouveau matériel; il en naîtra l'occasion d'indiquer les changemens opérés dans la partie étrangère à l'équipage de campagne.

NOUVEAU MATÉRIEL.

Il convient de commencer par les voitures qui ont fait l'objet des travaux préparatoires: on en sera plus à même de saisir les motifs de plusieurs dispositions, et de voir que la base du système actuel a seule été empruntée à celui des anglais; tout le reste est de création française et bien supérieur, il faut le dire, aux constructions de nos voisins.

Nous suivrons d'ailleurs la classification établie par le comité central, pour les diverses parties du matériel.

ARTILLERIE DE CAMPAGNE.

321. Les batteries actuelles présentent encore quatre espèces de voitures: les affûts, le caisson, le chariot de batterie et la forge. Il n'y a qu'un seul modèle de roues pour toutes; car celles

des arrière-trains sont égales entre elles et égales à celles des avant-trains ; mais deux numéros d'essieux sont obligés : l'un sert aux affûts proprement dits, l'autre à tous les avant-trains et à la seconde partie des autres voitures. Leurs fusées sont pourtant les mêmes ; les corps seuls diffèrent : ils n'ont ni d'égales dimensions, ni pareils tracés, en raison de ce que les efforts auxquels ils se trouvent soumis, sont loin d'avoir même intensité et même direction (184).

322. La suppression de la volée mobile et des palonniers, jointe au remplacement de la sassoire par le support en fer, rend extrêmement simple l'avant-train commun aux quatre espèces de voitures. Son unique volée est fixée au-dessous des armons, afin que la hauteur des roues diminue moins l'angle de traction. Cet angle acquiert par là une ouverture de 6 à 7° (113).

L'articulation est très-voisine de l'axe du premier essieu, et comme la direction de la puissance motrice, ainsi que celle de la résistance opposée par l'arrière-train, passent très-près du même axe, les pressions exercées sur les roues et sur les colliers des chevaux, éprouvent dans les marches aussi peu de variation qu'il est possible (86 et 99).

523. Le même affût sert aux deux bouches à feu d'une même batterie : le canon et l'obusier. L'artillerie de campagne n'a donc plus que deux affûts différens, l'un pour la pièce de douze et l'obusier de six pouces, l'autre pour la pièce de huit et l'obusier de vingt-quatre. On leur a d'ailleurs rendu communes toutes les ferrures qui ne dépendent ni des dimensions de la bouche à feu, ni de l'écartissage des parties en bois.

L'encastrement de route faisait perdre un temps précieux et affaiblissait le flasque ; il a été supprimé pour le calibre de douze, comme pour le calibre de huit. Mais la charge ne s'en trouve pas moins convenablement répartie entre les deux essieux, et cela vient de la quantité de munitions renfermée dans le coffre de l'avant-train.

Enfin, l'angle de tir sous lequel les roues commencent à se soulever, est à-peu-près le même que dans l'affût de *Gribeauval* (148), malgré la grande différence des compositions ; mais le nouvel affût étant plus léger, éprouve des percussions un peu moins fortes (152).

524. Il n'y a qu'un seul modèle de caisson pour les quatre calibres et le transport des cartouches d'infanterie ; le coffre du corps est en tout point pareil à celui des avant-trains, et comme trois canonniers peuvent se tenir assis sur le couvercle, tous les servans sont au besoin transportés rapidement par les voitures (232).

Le nouveau caisson reçoit aussi en arrière une roue de rechange ; mais pour diminuer les chances de rupture (106), on a fixé à l'extrémité supérieure de l'essieu porte-roue, une chaîne terminée par un té : le glissement qu'elle permet le long de la fusée, prévient une grande partie des accidens que laisserait arriver l'emploi d'une esse ; mais son étendue est assez restreinte pour conserver à la roue la faculté de reprendre d'elle-même sa première position, une fois l'obstacle franchi.

525. Le chariot de batterie et la forge sont construits dans le même système que le caisson. Ces deux voitures ont donc, à part l'influence du chargement, tout autant de mobilité ; elles renferment d'ailleurs toutes les pièces de la troisième qui conviennent à leurs services particuliers.

On adopta d'abord un chariot à coffre, convert d'un demi-cylindre en toile peinte ; mais bientôt sa capacité fut reconnue insuffisante et son couvercle montra fort peu de solidité. En conséquence, un nouveau chariot d'une capacité double a été composé dans l'année 1833.

Le fond et les parois latérales sont formés de planches séparées. Il n'a point de paroi supérieure, parce qu'un couvercle durable le rendrait trop lourd et souvent incommode : les outils et les menus approvisionnemens s'y chargent renfermés dans des coffres, et quand il transporte des harnais, ou d'autres objets qui craignent la pluie, on lui donne une converture temporaire. Elle consiste en un prélat taillé et disposé de manière à présenter l'aspect d'un toit triangulaire. Ce toit est soutenu par une perche faîtière fixée à deux supports en fer qui se rabattent ou se relèvent à volonté ; les axes de rotation sont implantés dans les faces extrêmes de la voiture. Enfin, quand la converture est inutile, la perche placée le long de la ridelle de droite, ne cause aucun embarras. On sentira aisément combien ces dispositions sont au-dessus de ce qui se pratiquait pour le chariot à munitions de *Gribeauval* (285).

526. La nouvelle forge offre tous les arrangements qui facilitaient le travail dans celle de 1821 (306); ils s'y trouvent même perfectionnés. Mais la caisse au charbon a repris son emplacement primitif, sous la buse du soufflet: comme elle est en tôle, elle ne peut plus ni pourrir, ni rien dégrader. Les outils, les ferrures de rechange et les approvisionnements sont partagés entre le coffre de l'avant-train et un autre plus petit placé en arrière du second essieu (287). Ce dernier est mobile; au-dessous, on a fixé une planche qui sert d'établi aux serruriers, disposition nouvelle dont l'avantage est visible.

527. En résumé, les nouvelles voitures des batteries sont d'une construction simple, très-solide, et leur tracé concourt avec leur composition générale pour leur donner toute la mobilité possible. Mais les affûts résistent moins bien au tir que ceux de l'ancienne artillerie, ce qui vient de l'assemblage des flasques sur la flèche, du trou dans lequel s'engage la vis de pointage, et de ceux où se logent les boulons de l'écrou. Il faut reconnaître aussi que le mode d'attelage actuel (37) est inférieur à celui de *Gribeauval* (33).

On a déjà proposé bien des moyens de remplacer le support; mais l'expérience les a tous condamnés, et la raison seule pouvait les faire repousser. Il est visible en effet que pour rétablir l'ancien attelage, il faut donner plus d'une pièce de contact aux deux trains, et que dès-lors leur indépendance cesse. Tout ce qu'on pourrait espérer, ce serait d'arriver à une composition mixte qui permit de rendre à volonté l'indépendance, soit aux deux parties de la voiture, soit aux chevaux.

528. Le chariot de parc, commun à l'équipage de campagne et à l'équipage de siège, n'est pas à flèche, comme les voitures des batteries. La grande longueur de plusieurs des objets qu'il doit transporter, a forcé de lui donner une toute autre composition. En effet, cette longueur détermine celle des brancards; si l'on eût conservé la flèche, ils n'auraient pu s'avancer jusqu'à l'emplacement B de la plaque contre laquelle serait venue s'appuyer l'une des roues de devant, dans les demi-tours (fig. 29). La distance des essieux eût donc été augmentée de toute la quantité $AC + BC$ comprise entre l'axe du premier et la plaque d'appui (193).

Ainsi, les besoins du service et l'importance d'un roulage facile (108), ont fait rentrer le chariot de parc dans l'ancien système. Cependant, la composition du nouvel avant-train est loin de ressembler à celle qu'employait *Gribeauval* : elle donne plus de légèreté ; la bande circulaire de frottement (195) soutient le corps de voiture dans les changemens de direction, bien mieux que ne faisait la-selette ; la cheville-ouvrière est placée en arrière du premier essieu, de manière à permettre le plus grand angle de tournant possible (126) ; néanmoins il a fallu pour rendre cet angle convenable, adopter une roue moins haute que celle des voitures de batterie. Du reste, on s'est servi d'autant de pièces de ces voitures qu'on l'a pu : leur volée et leur essieu de devant appartiennent aussi au chariot de parc, seulement la volée est placée au-dessus des armons, parce qu'au-dessous, elle aurait trop ouvert l'angle de traction, les roues étant basses (113) ; celles des dimensions de ces roues qui ne dépendent point de la hauteur, sont égales aux dimensions correspondantes des autres, excepté pourtant les deux plus grands diamètres du moyen ; mais comme la différence n'est que de 0^m,01, on pourrait l'annuler, si elle n'a pas été établie pour diminuer les rebuts de bois.

Quant au timon, il devait offrir plus de résistance que celui des autres voitures, attendu que la dépendance des trains lui fait supporter de plus grands efforts, soit dans les tournans, soit dans les terrains accidentés.

Il aurait été possible d'adapter au chariot de parc le mode d'attelage de *Gribeauval*, puisque l'avant-train a une pièce de contre-appui : le harnais eût même pu rester comme il est ; mais on a vu moins d'avantages à laisser aux chevaux toute leur liberté, qu'à supprimer aussi, dans la nouvelle voiture, la volée de devant.

L'arrière-train est exempt de plusieurs défauts que les modifications de 1827 n'avait pas fait disparaître (305) : les roulons des parois latérales, qui se dégradaient promptement et détérioraient plusieurs des objets transportés, sont remplacés par des planches ; à la lunette pratiquée dans le lispir, on a substitué une lunette en fer fixée entre deux forts épars sur lesquels se divise l'effort de traction, et de là résulte, outre une plus grande solidité, un

jeu plus étendu pour le timon. D'ailleurs, l'essieu et les roues sont les mêmes que dans les voitures des batteries.

ARTILLERIE DE SIÈGE.

329. Le matériel spécialement affecté aux sièges, se compose des affûts, du chariot porte-corps et de la charrette. Il y a deux espèces d'affûts, l'une pour le canon de vingt-quatre et le nouvel obusier de huit pouces, l'autre pour le canon de seize. Le chargement de ces voitures, la charrette exceptée, étant d'un très-grand poids, il convenait de les faire à flèche, comme celles des batteries, afin que les quatre roues pussent être de même diamètre et le roulage facile, sans restreindre l'angle du tournant. Les dimensions des canons ne s'y opposèrent point, et la longueur nécessaire à la charge du porte-corps était assez bornée, pour que les brancards n'eussent pas besoin de dépasser la plaque d'appui, comme auraient dû faire ceux du chariot de parc (328), ou qu'on fût obligé de laisser trop d'intervalle entre des essieux.

Mais ce qui motivait l'emploi d'une flèche, s'opposait à l'indépendance des trains. Heureusement, il n'y avait aucun inconvénient à y renoncer pour des voitures que leur service n'oblige jamais à parcourir des terrains accidentés. La flèche repose donc sur une selette placée au-dessus du premier essieu, et une pièce de contre-appui soutient le timon. Cette composition a permis d'employer une volée de devant et le mode d'attelage de *Gribeauval*; mais pour éviter l'embarras des palonniers (36), on les a supprimés même à la volée de derrière.

330. Un seul modèle d'avant-train sert pour les deux affûts et le porte-corps. Sa composition est celle de l'avant-train du chariot de parc, voiture qui fait aussi partie de l'équipage de siège (328). La cheville-ouvrière traverse la pièce de contre-appui; il en résulte de la simplicité, la plus grande ouverture possible pour l'angle du tournant (126) et de la facilité dans les manœuvres de force qu'une sassoire aurait gênées. Cependant le timon n'est pas suffisamment soutenu par la réaction de l'arrière-train: il baisserait quand la voiture serait à vide, et plus encore lorsque la pièce occuperait ses encastremens de tir, si, dans l'impossibilité d'en assurer constamment la stabilité au moyen des lignes du tracé (96 et 97), on n'avait opposé un obstacle à l'in-

clinaison de la cheville-ouvrière: celle des affûts est maintenue verticale par la forme même de la lunette qui n'est pas évasée en avant; celle du porte-corps est arrêtée par une bride dite *de support de timon*. Mais de là suit que plusieurs parties de l'avant-train et notamment la cheville elle-même, ont parfois de très-grands efforts à supporter.

331. L'adoption de flasques courts, unis à une flèche, a été avantageuse aussi sous le rapport de l'économie, car les plateaux capables des anciens flasques étaient devenus fort difficiles à trouver.

Les encastremens ne sont pas revêtus d'une sous-bande complète, l'expérience ayant prouvé que la demi-sous-bande, provisoirement employée par *Gribeauval* (277), suffit contre les percussions du tir.

Le pointage est devenu facile et sûr, parce qu'une vis semblable à celle de l'artillerie de campagne, a été substituée aux coins des anciens affûts; cependant, ces coins sont encore employés pour l'obusier, qui n'a pas autant de longueur que le canon de vingt-quatre.

Le tracé de la face supérieure du flasque rend très-simple la manœuvre nécessaire pour faire glisser le canon des encastremens à la position qui répartit convenablement la charge entre les essieux. Dans cette position de route, la pièce repose par son premier renfort, sur un coussinet que deux boulons unissent à la flèche, et par sa volée, sur la tête de cette même flèche, située au-dessus du second essieu. Deux chevilles-arrêtoirs s'opposent à un nouveau glissement des tourillons en avant, le talus des flasques empêche le glissement en arrière, et ces flasques préviennent tout mouvement de rotation sur l'axe de l'âme, bien qu'ils ne supportent pas le moindre poids.

Enfin, l'essieu en bois a été remplacé par un essieu en fer auquel on a donné un corps en bois pour élever la pièce convenablement (204); les diamètres du moyeu ont pu être diminués; les roues sont devenues plus légères; la voiture s'est trouvée remplir toutes les conditions d'un roulage facile, et il n'a plus été nécessaire d'employer un chariot spécial pour transporter les pièces de siège.

Mais le tracé d'ensemble de l'affût proprement dit est resté

conforme à celui de *Gribeauval*, qui ne laissait rien à désirer sous le rapport de la résistance aux effets du tir. Quant au recul que la facilité du roulage devait augmenter, on a cherché, par expérience, quelle position les tourillons avaient besoin d'occuper relativement à la crosse, pour que le mouvement rétrograde fût limité à la longueur de l'ancienne plate-forme.

Du reste, les mêmes modèles de rouc et d'essieu conviennent aux deux affûts, ainsi qu'à leur avant-train commun; toutes les ferrures qui ne dépendent ni des dimensions de la pièce, ni de celles des parties en bois, sont même pareilles dans les deux voitures.

552. Aucun système d'artillerie ne peut se passer d'un moyen spécial de transport pour les mortiers montés sur leurs affûts, et pourtant ce moyen n'existait pas réellement dans le matériel de *Gribeauval*. Le chariot porte-corps créé en 1825, remplit tout-à-fait les conditions de son service particulier, avec une composition générale analogue à celle des affûts. Aussi a-t-il pu recevoir l'avant-train, l'essieu et les roues de derrière de ces voitures, ce qui lui a donné un roulage facile. Il jouit aussi d'une très-grande solidité; elle est due à quatre brancards que rend solidaires une judicieuse combinaison de bandes de fer. Enfin, un trenil porté par derrière facilite à tel point le chargement et le déchargement, qu'un petit nombre d'hommes suffisent pour ces opérations.

N'omettons pas de dire qu'on peut très-aisément disposer le nouveau porte-corps au chariage des lourds projectiles, et en cas de besoin, à celui des canons ou des obusiers.

Ainsi, la partie essentielle du matériel de siège présente maintenant beaucoup d'uniformité, de simplicité, et une mobilité qui levera plusieurs grandes difficultés de l'attaque des places. La flèche rend même les arrières-trains très-propres au mouvement à bras que l'armement des batteries exige souvent (207).

553. La charrette était imposée par le service des tranchées; elle est courte, pour qu'elle tourne facilement dans les zig-zag; elle est légère et d'une petite capacité, pour que deux chevaux roulent aisément le poids total; ces chevaux y sont attelés de front, pour que les harnais et le mode de conduite soient pareils à ceux des autres voitures (31).

La nouvelle composition générale s'éloigne peu de l'ancienne ; mais les tracés des pièces ont généralement plus de simplicité qu'ils n'en avaient, surtout celui des limons, parties principales de la charrette. Les parois latérales présentent toujours des ridelles et des roulons, seulement ces roulons sont des cylindres, au lieu des prismes carrés d'autrefois qui éclataient par leurs angles. Il eût été mieux pour la durée, d'employer des planches, comme dans le chariot de parc, mais probablement on aura craint de rendre la charrette trop lourde. Enfin, la roue et l'essieu sont les mêmes que dans les voitures des batteries.

ARTILLERIE DE PLACE ET DE CÔTE.

334. Le matériel des places et celui des côtes, qui étaient distincts anciennement, ne font plus qu'un aujourd'hui. C'est là encore une grande simplification ; elle s'offrait d'elle-même, puisque les conditions auxquelles les affûts des deux services doivent satisfaire, sous le rapport du tir, sont tout-à-fait identiques (220).

Il était naturel aussi d'établir la composition générale du nouvel affût, en combinant toutes les dispositions reconnues bonnes dans les deux qu'il allait remplacer. On lui a donc donné des roues comme à l'ancien affût de place, afin qu'il fût mobile ; il est monté sur un châssis à roulettes, comme l'ancien affût de côte, pour que le champ de tir soit très-étendu, et le pointage facile ; les roues s'appuyant par leurs moyeux sur les côtés du châssis, fonctionnent dans le tir comme les gros rouleaux d'autrefois (281), et il en résulte que le recul se trouve tout aussi limité qu'il l'était jadis dans les batteries de côte.

Mais il importait de diminuer la prise laissée au feu de l'ennemi, par le rectangle plein qu'offrait chaque face latérale du flasque de *Gribeauval*. A cet effet, les nouveaux flasques se composent chacun d'un montant légèrement incliné et d'un arc-boutant dont l'ensemble présente un grand vide et figure une espèce de V renversé. Ils furent d'abord simplement unis par des entretoises et un corps d'essieu en bois ; mais l'expérience montra bientôt l'insuffisance de la liaison des diverses pièces, et l'on fut obligé d'assembler un fort tirant de bois avec le corps d'essieu, par son extrémité antérieure, avec l'entretoise des arcs-

boutans, par l'autre bout. Si l'affût y perdit sa simplicité première, s'il devint même plus compliqué, plus difficile à construire que l'affût de place supprimé, il l'emporterait assez sous tous les autres rapports, pour qu'on doive lui reconnaître une grande supériorité: il remplit en effet complètement presque toutes les nombreuses conditions du n° 215; son champ de tir a plus d'étendue que celui de l'ancien affût; son roulage est de beaucoup plus facile; le ricochet a bien moins de prise; le châssis occupe un moindre espace, tant en longueur qu'en largeur, et l'affût chargé de sa pièce s'y place ou le quitte bien plus aisément.

Tant d'avantages résultent de la composition, de la légèreté qu'ont produite les tracés, de la substitution d'un essieu en fer à un énorme essieu en bois, et de la simplification opérée sur la plate-forme.

335. Le service des places et celui des côtes exigent trois affûts, parce qu'on y emploie des canons de vingt-quatre, de seize et de douze. Mais ces trois affûts diffèrent seulement par leurs dimensions; ils ont le même châssis, le même essieu, les mêmes roues et le même avant-train, qui est celui des voitures de campagne; de sorte que cette partie du matériel présente toute la simplicité et l'uniformité possibles.

336. Un triqueballe unique entre aussi dans le matériel de place et de côte. Son mécanisme est un treuil; il ne présente pas de danger, comme le levier du triqueballe ordinaire de *Gribeauval* (280), et ne se dégrade pas durant le transport, comme la vis; les résistances accessoires y sont aussi bien moindres que dans cette dernière machine; ses leviers permettent d'ailleurs de favoriser la puissance autant qu'il est nécessaire.

L'arbre du treuil est en fer, pour que la résistance principale ait un bras de levier très-court; les tourillons sont maintenus par des sus-baudes sur des coussinets de fonte que des boulons fixent au corps d'essieu en bois de l'arrière-train; autour de l'arbre peuvent se mouvoir deux boîtes à levier, placées au-delà des tourillons; on les rend fixes successivement, au moyen de chevilletes qui traversent deux disques en fonte montés sur le même arbre; un encliquetage empêche le fardeau de rétrograder, et deux chaînes dont les points d'attache se trouvent sur la roue

dentée, remplacent les cordages antrefois employés, tant pour élever ce fardeau que pour le brêler.

337. On a pu diminuer les résistances du roulage, en donnant à l'arrière-train du triqueballe, l'essieu en fer des voitures de siège; mais l'obligation de placer le chargement au-dessous, pour que la manœuvre exige peu d'hommes et de temps, a forcé de créer une roue nouvelle, et de lui donner un rayon égal à la plus grande élévation que puisse avoir la face supérieure du fardeau. Le corps de voiture est formé d'ailleurs d'une simple flèche, liée à un corps d'essieu en bois par deux empanons; les leviers de manœuvre y ont un emplacement.

338. Il fallait un avant-train spécial, pour que la flèche restât horizontale pendant le transport, et que la voiture pût se plier aux coudes des rues, malgré le grand intervalle des essieux. La cheville-ouvrière est en arrière du premier sur une petite selette, et un *rond* en fer forme la sassoire; ces pièces sont soutenues par deux armons obliques qui serrent le tétard du timon; mais pour élever le rond à une hauteur convenable, il a été nécessaire d'employer un corps d'essieu en bois surmonté d'une seconde selette. Ainsi, la composition générale de cet avant-train sort tout-à-fait du nouveau système; elle revient même à celle qu'avait donnée *Gribeauval* aux avant-trains de ses voitures; mais afin de violer le moins qu'il était possible, le principe d'uniformité, on employa l'essieu, la roue, le timon et la volée de l'avant-train du chariot de parc.

339. Nous croyons devoir parler de la *chèvre*, pour n'omettre aucune des parties importantes du matériel. Il y avait deux machines de ce nom dans l'artillerie de *Gribeauval*, l'une dite *de campagne*, l'autre dite *de place*. La première se démontait bien plus facilement que la seconde, et pouvait, par conséquent, être transportée sur le chariot à munitions, sans causer d'embarras: c'était en cela que consistait toute leur différence; mais elle provenait de ferrures qui augmentaient le poids de la chèvre de campagne.

Il n'existe qu'une seule chèvre dans la nouvelle artillerie; on la démonte sans difficulté, et pourtant ses assemblages la rapprochent plus de la chèvre de place que de l'autre. Elle a sur celles-ci l'avantage de rendre la manœuvre plus sûre et

plus facile. Autrefois, le pied pouvait se séparer brusquement des hanches, dans le cas d'un lourd fardeau ; aujourd'hui, la séparation est impossible : une forte cheville en fer unit le pied avec la tête, pendant que la machine fonctionne. Les tourillons du treuil des anciennes chèvres étaient en bois et conséquemment d'un assez grand rayon ; ceux de la nouvelle sont en fer et tournent dans des crapaudines de même métal, garnies de viroles en cuivre.

On essaie actuellement dans les écoles, une chèvre construite selon les principes appliqués à la composition de la machine du triqueballe (356). La manœuvre en est très-facile, mais le poids suffira peut-être pour en empêcher l'adoption. Les chaines ne sauraient d'ailleurs convenir à toutes les circonstances de l'armement des places.

Voici au reste les conditions auxquelles la chèvre d'artillerie nous paraît devoir satisfaire. Il faut que le mécanisme ne puisse être dégradé ni par le transport sur les voitures, ni par les chocs qui ont nécessairement lieu pendant la manœuvre : ainsi aucune espèce d'engrenage n'est admissible. Il faut aussi économiser le temps plutôt que la force motrice, car on ne manque jamais de bras, et l'opération peut exiger de la promptitude. Conséquemment, il n'y a pas lieu de chercher à rendre très-petit le bras de levier de la résistance principale ; c'est même au bout contraire qu'on devrait tendre, pour accélérer l'ascension ou la descente du fardeau. Enfin, il faut s'attacher à supprimer les résistances accessoires et à diminuer celles qui sont inévitables, pour que la manœuvre puisse être facile sans cesser d'être rapide.

ARTILLERIE DE MONTAGNE.

340. La différence des modes de transport en établit une si grande entre le matériel de montagne et l'équipage de campagne, qu'ils ne peuvent avoir aucune partie commune (237), et comme *Gribeauval* ne s'était nullement occupé du premier de ces services, il fallut recourir à des expériences pour découvrir la composition et les tracés les plus convenables. Elles furent faites à Toulouse en 1817, sur les artilleries de montagne de diverses puissances.

Les observations recueillies firent ensuite adopter pour bouche

à feu unique, un obusier de douze, pesant 100^{ks}, poids que ne peut excéder la charge d'un mulet de bât. L'affût devait aussi ne point dépasser cette limite. On lui donna une forme analogue à celle des affûts de campagne, et le tracé d'ensemble fut réglé de manière que, malgré la légèreté du système, le tir sous de petits angles ne pût causer un soulèvement capable d'opérer une culbute. Quant aux munitions, elles durent être renfermées dans des caisses de telles dimensions qu'une couple fit un poids de 100^{ks} tout au plus.

Le corps de l'affût de montagne est formé d'une seule pièce de bois ou de deux unies par accollement (244). Sa partie antérieure, convenablement évidée, reçoit l'obusier, soutient les tourillons et permet de pointer sous tous les angles nécessaires, au-dessous comme au-dessus de l'horizon. Le flasque unique s'assemble sur un essieu en bois (182); les roues ont seulement 0^m,94 de hauteur; la voie est au plus moitié de celle des autres voitures (114), à cause des chemins étroits et encaissés qui se trouvent dans les pays montagneux; enfin, une enrayure (163) fournit le moyen de restreindre le recul plus que ne peut le faire le frottement de l'essieu.

La longueur qu'on est obligé de donner à l'affût de montagne, pour satisfaire aux conditions du tir, devient gênante dans le transport à dos : la flèche alors très-saillante en arrière du bât, et dépourvue d'appui, fait des oscillations qui peuvent finir par blesser le mulet. Aussi a-t-on songé à rendre la crosse mobile, pour qu'elle pût être rabattue sur le flasque; mais l'innovation n'a pas été adoptée.

341. Il avait été admis d'abord que, toujours dans les marches, l'obusier et son affût, seraient transportés séparément à dos de mulet, et que, pour les mouvemens du combat, des servans traîneraient le système. Mais plus tard fut reconnue la nécessité d'un moyen qui permit d'employer aussi le mulet au roulage. En conséquence, on construisit une limonière qui s'adapte à la crosse d'une manière simple et solide.

Mais il convient de ne transformer l'affût de montagne en voiture à deux roues, que sur des terrains à pentes peu raides et à inégalités peu prononcées : une rampe très-inclinée ferait agir en sens inverse de la force motrice, la plus grande partie

du poids total (67), et ce poids est le double de la charge à dos du mulet; une proéminence haute seulement de 6^{pu} exigerait un effort de traction supérieur au même poids (49). C'est probablement pour cela que le comité central de l'artillerie, consulté en 1826 par le ministre de la guerre, sur l'emploi d'une charrette destinée au transport des munitions, inséra cette phrase dans son rapport : « A l'exception de l'affût chargé de la pièce, » *qu'il peut être dans quelques circonstances* avantageux de faire » trainer, au lieu de le porter, toutes les parties de l'équipage » de l'artillerie de montagne doivent être transportées à dos de » mulet. »

542. Les bâts en usage dans le pays où se fait la guerre, peuvent être employés pour les caisses, car ce chargement ne diffère pas essentiellement de celui qu'y reçoivent d'ordinaire les mulets; mais pour l'obusier et pour l'affût, il faut un bât particulier, dont la forme et les dimensions conviennent à ces objets. Des épreuves ont été entreprises dans la vue de reconnaître le tracé le plus avantageux; elles ont fait adopter deux modèles d'arçons, l'un pour le bât des Alpes, l'autre pour celui des Pyrénées.

La forme extérieure est la même, puisque le chargement ne varie pas; la différence provient de celle des tracés donnés aux parties qui s'appliquent sur le mulet: cet animal n'est pas effectivement dans la première contrée ce qu'il est dans la seconde.

543. La forge de montagne sert aussi aux régimens de cavalerie. Ses diverses parties et les outils sont renfermés dans deux caisses spéciales qui ne diffèrent que par les divisions de l'intérieur. Ces caisses se placent sur le même mulet, et l'on met entre elles, sur le milieu du bât, la sacoche en cuir dans laquelle est porté l'approvisionnement de charbon.

ÉQUIPAGE DE PONT.

544. Le bateau de 1821 (312) a été conservé; mais on y a joint sept poutrelles pour former le chargement d'un haquet. Il en résulte un poids total de 2180^{ks}, très-peu supérieur aux 2138^{ks} que pèse la pièce de douze jointe à son affût et à l'avant-train. Ainsi, l'équipage de pont est assimilé aujourd'hui à une batterie de 12, pour la mobilité, tandis qu'en 1821 il était

regardé comme devant être aussi mobile qu'une batterie de huit.

Les madriers sont maintenant chargés dans le chariot de batterie, au nombre de trente-six, ce qui donne à ce chariot un poids total de 1871^{ks} seulement. Par conséquent, le nombre des attelages se trouve réduit d'un tiers, et celui des haquets, de moitié (313). Il convenait en effet de restreindre l'emploi de cette voiture, car elle exige des précautions dans sa conduite, le centre de gravité de la charge étant très-élevé au-dessus du sol (95), et les trains se trouvant fort écartés (107). Si l'on pouvait croire la simplification de l'équipage opérée au préjudice de la mobilité nécessaire, nous ferions observer qu'une telle faute était pour ainsi dire impossible, à une époque où l'on cherchait surtout les moyens de rendre l'artillerie capable de seconder puissamment toutes les opérations d'une armée.

345. Mais, après avoir augmenté le fardeau du haquet de 1821, il fallait modifier cette voiture, pour en accroître suffisamment la solidité et se ménager les moyens de disposer le chargement d'une manière convenable.

Les brancards sont unis en dessous par trois traverses, arc-boutés par des ferrures en avant et en arrière du second essieu, ainsi qu'en avant du premier, et appuyés sur quatre montans que lient deux à deux une couple d'entretoises; les montans antérieurs s'élèvent verticalement sur le lisoir, les autres, sur un corps d'essieu en bois. Et il n'y a dans tout cet appareil aucun luxe de solidité, car une voiture dont les essieux sont très-écartés, éprouve des ébranlemens propres à détériorer promptement les assemblages et même à causer des ruptures.

Les poutrelles, placées sur les traverses, forment une espèce de plancher qui soutient le fond du bateau et se trouve élevé d'une quantité presque égale à la hauteur des rons de derrière. Il en résulte que ces rons ne peuvent user les ranchets et que les autres ne s'arrêtent pas dans les tournans avant de toucher les brancards, comme faisaient les roues du haquet de 1821, quand celles d'un même essieu n'étaient point de niveau.

346. On ne put donner au nouveau haquet, l'avant-train du chariot de batterie, ni celui de la forge qui entre aussi dans l'équipage de pont, car il fallait satisfaire aux conditions qui

règlent la composition de l'avant-train du triqueballe (239 et 338). Ce dernier même n'était pas convenable : la distance de la volée au premier essieu n'y surpasse guère le rayon des roues de devant (194), afin que la grande longueur de la voiture ne soit pas inutilement augmentée, et dans le haquet cette distance doit placer le conducteur assez en avant pour qu'il ne puisse être gêné par le bateau qui dépasse de beaucoup le lisoir. Il fallut donc un avant-train spécial, bien que sa création vint altérer la simplicité et l'uniformité du nouveau matériel.

La cheville-ouvrière est au-dessus de l'essieu ; il eût été inutile de la mettre en arrière, puisque les roues peuvent passer sous les brancards. Une sassoire circulaire en fer repose sur la partie postérieure des armons. Le corps d'essieu en bois porte une selette, et cette selette sert d'appui au lisoir.

La composition générale est donc celle des avant-trains de *Gribeauval* ; la grande élévation des brancards devait produire cette ressemblance, comme avait déjà fait celle de la flèche du triqueballe. Mais l'avant-train de cette dernière voiture n'a pas à beaucoup près la simplicité de celui du haquet (338).

Il convenait que la sassoire eût peu de saillie à droite et à gauche, pendant la marche en ligne droite, et en même temps il fallait que le timon fût bien soutenu dans les changemens de direction. On a rempli ces deux conditions, en donnant à l'arrière-train un demi-rond en fer lié au lisoir par ses extrémités ; il est soutenu au moyen de deux pièces verticales assemblées avec une quatrième traverse qui, placée comme les trois autres sous les brancards, achève de rendre très-solide l'union de ces parties principales. De telles dispositions augmentent la supériorité du nouveau haquet sur celui de 1821, dont la jante de rond était soutenue d'une manière plus compliquée.

347. Les deux trains de la voiture à bateau ont le même essieu que les voitures de campagne, et les mêmes roues que ceux du chariot de parc. Le timon et la volée de ce chariot servent aussi au haquet, parce que le mode d'attelage de l'un est appliqué à l'autre (328).

Enfin, les assemblages ont été rendus très-solides, et les faces de toutes les pièces sont planes. Les faces courbes que présentent les parties en bois des voitures de luxe, qu'on avait

multipliées dans le haquet de 1821, et qui ne sont rien moins qu'un indice de solidité, ont le grave inconvénient d'augmenter les difficultés de la construction et d'élever par conséquent les frais de main-d'œuvre; elles mettaient d'ailleurs les tracés de l'équipage de pont en désaccord avec ceux du reste de l'artillerie.

En résumé, la composition du nouveau haquet est simple et très-bien entendue, comme celle de toutes les autres voitures du matériel de 1827. Elle n'introduit même aucun appareil spécial pour faciliter le chargement et le déchargement. Monter le bateau sur l'arrière-train et l'en descendre ne sont plus des opérations difficiles, quand les deux parties du haquet se trouvent séparées; or, malgré le grand poids de la charge, on parvient assez aisément à ôter et à remettre l'avant-train; il suffit pour cela de placer une poutrelle sous la traverse de devant, et d'y appliquer seize hommes.

L'examen comparatif des divers systèmes a pu faire voir que les grands changemens qui font époques dans l'histoire de l'artillerie, ont été commandés par des perfectionnemens survenus dans l'art de la guerre. Le but qu'on se proposait pour le matériel, était toujours celui qui se trouvait atteint pour les troupes, en progrès dans la célérité des mouvemens. Relativement aux voitures, ce progrès dépendait à la fois de la diminution du poids total et du perfectionnement de la composition. La légèreté a bien été de prime-abord portée, pour ainsi dire, au plus haut degré, par *Gribéauval*; mais sous le rapport de la composition, il a laissé beaucoup à faire, quoique son système fût incomparablement supérieur à tout ce qui l'avait précédé; on ne peut même regarder la mobilité de l'artillerie comme devenue presque parfaite, qu'à partir de 1827.

Le matériel de campagne avait seul été perfectionné en 1776; tandis que le nouveau système a mis toutes les branches du service à-peu-près au même niveau. Et ce n'est pas uniquement une composition générale en harmonie avec tous les besoins, qu'on remarque dans ce système; ce sont encore l'uniformité et la

facilité des tracés, l'extrême simplicité qu'a produite la réduction des modèles, poussée aussi loin qu'elle semble pouvoir l'être, et une très-grande solidité, complément indispensable de toutes les qualités que doit offrir un excellent matériel. Il ne suffit pas en effet d'avoir des voitures capables de rouler rapidement, des rechanges peu nombreux et faciles à placer; il importe en outre que très-rarement la nécessité des réparations arrête une colonne d'artillerie ou paralyse une bouche à feu de position.

Cependant, il faut le répéter, le mode d'attelage des batteries, qui influe sur celui des autres parties de l'équipage de campagne, est loin de remplir toutes les conditions; non pas que nous regardions comme possible d'en trouver un meilleur qui permette aussi une indépendance complète et constante des deux trains; nous pensons seulement que cette indépendance, absolument nécessaire pour les voitures qui doivent entrer en ligne, ne l'est plus au même degré pour celles des réserves et des parcs, c'est-à-dire pour les deux tiers des voitures de l'armée; de sorte qu'il y aurait avantage à employer un mode d'attelage mixte qui donnât les moyens d'ôter et de rendre à volonté l'indépendance soit aux deux trains, soit aux chevaux (327). Sans doute le matériel en deviendrait un peu moins simple, mais il semble que le soulagement et la conservation des moteurs compenseraient de reste le léger embarras causé par les pièces à introduire dans la composition actuelle.

FIN.

FAUTES A CORRIGER.

PAGE.	LIGNE.	AU LIEU DE.	PRENEZ.
13	4	M. le compte	M. le comte
25	7	adapté	conservé
47	12	au-dessus	au-dessous
49	20	en cuivre	en bronze
50	22	pagne,	pagne (28),
53	15	MN.	MN (fig. 8).
71	36	$P'' = \frac{Pa}{l}$	$P'' = \frac{Pa}{l}$
103	36	10 ¹⁸	14 ¹⁸ (La même faute existe aux pages 108 et 109.)
117	2	des ces roues:	de ces roues.
172	11	u'à	qu'à
230	23	le porte-	le haquet, le porte-

TABLE DES MATIÈRES.

	Page.
AVANT-PROPOS.....	v
PLAN DE L'OUVRAGE.....	i

PREMIÈRE PARTIE.

VOITURES D'ARTILLERIE.

CHAPITRE PREMIER. Théorie du tirage.....	2
Section première. Du cheval moteur.....	3
Vitesses du cheval.....	4
Travail du cheval de somme.....	id.
Effort de traction du cheval.....	5
Quantité d'action journalière du cheval de trait.....	9
Travail du cheval de voiture.....	11
Transport au pas.....	14
Transport au trot.....	15
Section deuxième. Composition des attelages.....	id.
Attelages des batteries.....	18
Attelages des parcs de siège.....	21
Attelages des parcs de campagne.....	id.
Section troisième. Modes d'attelage.....	24
Attelage à la française.....	25
Attelage des charrettes d'artillerie.....	27
Attelage des voitures à limonière.....	28
Attelage à l'allemande.....	29
Palonniers.....	34
Attelage des voitures à support.....	35
Force consommée sur les traits.....	37
Influence de la longueur des traits.....	42

	<i>Page.</i>
<i>Section quatrième. Des roues.....</i>	<i>45</i>
Roulement sur un sol dur et horizontal.....	<i>id.</i>
Frottement de l'essieu.....	<i>46</i>
Roulement sur un chemin à surface molle.....	<i>51</i>
Obstacles fixes.....	<i>53</i>
Influence du rayon de la roue sur la fatigue...	<i>56</i>
Influence du rayon des roues sur les pertes de force vive.....	<i>57</i>
Roulement sur un sol pénétrable.....	<i>61</i>
Roulement sur un sol incliné.....	<i>67</i>
CHAPITRE DEUXIÈME. Théorie des voitures.....	<i>70</i>
<i>Section première. Voitures à deux roues.....</i>	<i>id.</i>
Repos sur un sol horizontal.....	<i>71</i>
Repos sur un sol incliné.....	<i>72</i>
Mouvement sur un sol horizontal.....	<i>75</i>
Mouvement sur un sol incliné.....	<i>79</i>
Pressions latérales sur le limonier.....	<i>82</i>
<i>Section deuxième. Voitures à quatre roues.....</i>	<i>83</i>
Voitures à contre-appui.....	<i>84</i>
<u>Voitures à support.....</u>	<i>89</i>
Principes du tracé.....	<i>93</i>
Angle de traction.....	<i>94</i>
Positions des centres de gravité.....	<i>id.</i>
<u>Articulation des deux trains.....</u>	<i>95</i>
<u>Point d'attache des traits.....</u>	<i>98</i>
<u>Distance des essieux.....</u>	<i>id.</i>
Centre de gravité de la charge totale.....	<i>99</i>
Stabilité du timon.....	<i>105</i>
<u>Jeu du timon.....</u>	<i>110</i>
Indépendance des trains.....	<i>114</i>
<u>Limite des brancards.....</u>	<i>116</i>
<u>Limites de la distance des essieux.....</u>	<i>117</i>
Expériences d'Edgeworth.....	<i>119</i>
Angle de la moindre résistance.....	<i>120</i>
<i>Section troisième. Voie, tournant et enrayement des voitures.....</i>	<i>125</i>
Voie des voitures.....	<i>id.</i>
Tournant des voitures.....	<i>127</i>
Angle du tournant.....	<i>131</i>

	Page.
Affûts de siège et de mortier.....	190
Voitures de siège.....	195
Voitures de la première classe.....	<i>id.</i>
Voitures de la deuxième classe.....	198
<i>Section troisième.</i> Artillerie de place.....	200
Affûts de place.....	201
Voitures des places.....	205
<i>Section quatrième.</i> Artillerie de côte.....	206
<i>Section cinquième.</i> Artillerie de campagne.....	208
Voitures des batteries.....	209
Affûts de campagne.....	211
Caissons à munitions.....	214
Voitures de la réserve.....	217
Voitures des grands parcs.....	218
<i>Section sixième.</i> Artillerie de montagne.....	219
<i>Section septième.</i> Équipage de pont.....	220
CHAPITRE TROISIÈME. Tracés de détail.....	222
<i>Section première.</i> Principes généraux.....	223
<i>Section deuxième.</i> Tracés des assemblages.....	225
Assemblages de croisement.....	226
Assemblages de pénétration.....	228
Assemblages des rais.....	230
Assemblage des essieux de fer.....	232
<i>Section troisième.</i> Tracés des ferrures.....	<i>id.</i>
Boulons.....	234
Clous et vis à bois.....	236

QUATRIÈME PARTIE.

SYSTÈMES D'ARTILLERIE.

CHAPITRE PREMIER. Système de <i>Vallière</i>	239
CHAPITRE DEUXIÈME. Système de <i>Gribeauval</i>	245
Artillerie de position.....	<i>id.</i>
Artillerie de campagne.....	249
CHAPITRE TROISIÈME. Modifications de l'an XI.....	258
CHAPITRE QUATRIÈME. Modifications de 1816 à 1824....	261

	295
	Page.
CHAPITRE CINQUIÈME. Système de 1827.....	267
Travaux préparatoires.....	<i>id.</i>
Nouveau matériel.....	272
Artillerie de campagne.....	<i>id.</i>
Artillerie de siège.....	277
Artillerie de place et de côte.....	280
Artillerie de montagne.....	283
Équipage de pont.....	285
Conclusion.....	288
Fautes à corriger.....	290





23475

Fig. 2.



Fig. 6.



Fig. 7.



Fig. 8.



Fig. 9.



Fig. 24.

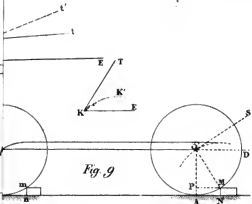
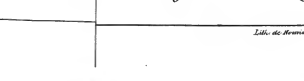


Fig. 9.

Fig. 14.

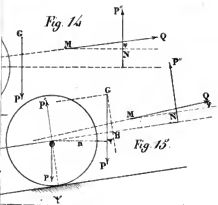
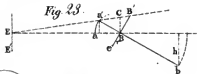


Fig. 15.

Fig. 23.





?

Fig 30

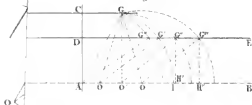


Fig 36

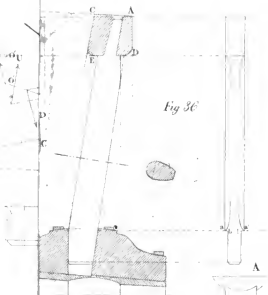


Fig 57



Fig 58



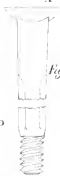
Fig 59



Fig 53



Fig 55



Lith. de Neuvion rue tête d'or.







BIBLI